

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341-Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Hodnocení kvality lepených spojů u plechů z hliníkových slitin

Evaluation of the Quality of Glued Joints of Aluminium Alloy Sheets

Veronika Brozová
KSP – TP – B52

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Rozsah práce a příloh

Počet stran	50
Počet tabulek	9
Počet obrázků	20
Počet grafů	2
Počet příloh	22

Datum: 5.6.2009



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Veronika BROZOVÁ**
Studijní program **B2341 Strojírenství**
Studijní obor **3911R018 Materiály a technologie**
Zaměření **Tváření kovů a plastů**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Hodnocení kvality lepených spojů u plechů z hliníkových slitin

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení se s problematikou lepení hliníkových plechů.
2. Základní zkoušky pro hodnocení lepených spojů v automobilovém průmyslu.
3. Experimentální určení pevnosti lepených spojů plechů z hliníkové slitiny u vybraných lepidel pro karosářské plechy.
4. Vyhodnocení typu porušení lepených spojů
5. Vyhodnocení naměřených výsledků
6. Závěr.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva cca 30 stran

- grafické práce

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] KOVAČÍČ, L.: Lepenie kovov a plastov, SNTL Praha, Bratislava Alfa 1979
- [2] BROCKMANN, WALTER; GEISS, PAUL L.: Adhesion Technology, 2008
- [3] PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, SNTL Praha, 1980.
- [4] Články v odborných časopisech
- [5] Technické materiály od výrobců a zpracovatelů lepidel a plechů

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Doubek, Ph.D.**

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

prof. Ing. Petr Louda, CSc.
děkan

V Liberci dne 15. 3. 2009

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program:	B2341 – Strojírenství
Bakalář:	Veronika Brozová
Téma práce:	Hodnocení kvality lepených spojů u plechů z hliníkových slitin Evaluation of the Quality of Glued Joints of Aluminium Alloy Sheets
Číslo BP	KSP – TP – B52
Vedoucí BP:	Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce bylo experimentálně ověřit kvalitu lepených spojů z hliníkových slitin používaných v automobilovém průmyslu při výrobě dílů karoserie. V rámci experimentálního měření byla tři vybraná lepidla vhodná pro lepení hliníkových plechů podrobena destrukčním zkouškám pevnosti v odlupu a pevnosti ve smyku.

Abstract:

The main goal of the bachelor thesis is to examine experimentally the quality of glued joints of aluminium alloy sheets that are used in the car industry as bodywork material. Within the experimental measurements, three selected adhesives suitable for gluing aluminium alloy sheets were exposed to destructive tests of the peel and shear strength.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. června 2009

.....

Veronika Brozová

Nádražní 212

463 31 Chrastava

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Michaele Kolnerové, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování teoretické a experimentální části. Za hodnotné připomínky a podněty poskytnuté během zpracovávání naměřených výsledků. Také bych chtěla poděkovat Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při prováděných měřeních a poskytnutí potřebných informací ke zpracování naměřených výsledků.

Poděkování patří také rodičům, za jejich podporu a trpělivost v průběhu celého mého studia.

Všem jmenovaným mnohokrát děkuji za jejich podporu a pomoc při studiu.

Obsah

1. Úvod	9
2. Teoretická část	10
2.1. Teorie lepených spojů	10
2.1.1. Vlastnosti lepených spojů	10
2.1.1.1. Obecné výhody lepených spojů	10
2.1.1.2. Nevýhody lepených spojů	13
2.1.1.3. Výhody lepených spojů pro automobilový průmysl	14
2.1.2. Teorie adheze a koheze	14
2.1.2.1. Adheze	14
2.1.2.2. Vybrané teorie adheze	15
2.1.2.3. Koheze	16
2.1.3. Rozdělení konstrukce lepených spojů	16
2.1.4. Lepidla a jejich rozdělení	18
2.1.4.1. Rozdělení podle způsobu vytváření lepeného spoje	18
2.1.4.2. Rozdělení podle chemického základu	19
2.1.5. Zkoušky lepidel a lepených spojů	20
2.1.5.1. Zkoušky lepených spojů	20
2.1.5.2. Hodnocení porušení lepeného spoje podle ČSN ISO 10 365	23
2.2. Hliník a jeho slitiny	25
2.2.1. Výroba a použití hliníku	25
2.2.2. Vlastnosti hliníku a jeho slitin	27
2.2.3. Úprava povrchu hliníku a jeho slitin	29
3. Experimentální část	30
3.1. Cíl experimentu	30
3.2. Příprava vzorků	31
3.2.1. Použitý adherend na vzorky	31
3.2.2. Nastříhání vzorků	32
3.2.3. Očištění a odmaštění vzorků	33
3.2.4. Nanesení maziva	34
3.3. Vlastní lepení	35
3.3.1. Nanesení lepidla	35
3.3.2. Vytvrzení lepidla	38
3.4. Destruktivní zkoušky vzorků	39

3.4.1. Hodnocení pevnosti spoje.....	39
3.4.2. Hodnocení porušení spoje.....	41
4. Dílčí výsledky.....	43
4.1. Výsledky zkoušky v odlupování.....	43
4.2. Výsledky zkoušky ve smyku.....	44
5. Vyhodnocení výsledků.....	45
5.1. Pro zkoušku v odlupování.....	45
5.2. Pro zkoušku ve smykové pevnosti.....	46
6. Závěr.....	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	jednotky	Význam
F_{sab}	$[N \cdot mm^{-1}]$	střední pevnost v odlupu
F_s	[N]	průměrná síla v odlupu
b	[mm]	šířka lepeného spoje
τ	[MPa]	smyková pevnost při namáhání tahem
F_{max}	[N]	maximální tahová síla
S	$[mm^2]$	plocha lepeného spoje
AF		adhezní porušení
CF		kohezní porušení
SCF		smíšená porucha
t	[mm]	střední tloušťka
ELOX		elektrolytická oxidace
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_{p.02}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
E	[GPa]	modul pružnosti v tahu
s	[MPa]	směrodatná odchylka
$\bar{\tau}$	[MPa]	průměrná hodnota smykové pevnosti vzorů
n	[-]	počet vzorků
α	[°]	krajový úhel

1. Úvod [1,2,3]

V dnešní době, prakticky ve všech průmyslových odvětvích a nejen v nich, je možné najít technologii spojování materiálů lepením.

Stále více je využívána v automobilovém průmyslu, kde se klade velký důraz na kvalitu, spolehlivost, bezpečnost, komfort, hmotnost a také na cenu automobilu. Lepení je mnohdy jedinou spojovací technikou, která nepoškozuje povrch materiálů a zároveň může poskytnout nové kombinační možnosti a získat tak takové tvary a vlastnosti, jaké se jinými technologiemi těžko dosahují.

Lepení v automobilovém průmyslu se odlišuje požadavkem na lepení povrchů opatřených mazivem. Současná lepidla, používaná v automobilovém průmyslu, musí být schopná s použitím maziva vytvořit požadovaný lepený spoj karoserie automobilu. Použitím technologie lepení bez odmašťování se tak výrazně sníží náklady na přípravu pro lepení.

Pro delší životnost, lepených spojů je nutno, dobře znát vlastnosti použitých lepidel a lepených materiálů a také způsob namáhání spojů. Pokud by byl lepený spoj použit jen proto, že jiná technologie byla nedostačující, nebo příliš nákladná či jako poslední možnost, není zaručena velká úspěšnost.

Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit kvalitu lepených spojů u plechů z hliníkových slitin. Z hlediska automobilového průmyslu byla vybrána tři konstrukční lepidla, vhodná pro lepení hliníkových slitin. Pro zhodnocení kvality spoje byla zvolena zkouška smykové pevnosti v tahu a pevnosti v odlupování.

2. Teoretická část

2.1. Teorie lepených spojů [1,2,4]

Lepení je technologický proces spojování materiálů (adherendů) pomocí přídavných látek nazývaných lepidla (adhesiva), při kterém vznikají nerozebíratelná spojení stejných nebo různých materiálů. Lepidlo je látka, která umožňuje vytvářet pevná nerozebíratelná spojení mezi dvěma materiály. Tato schopnost lepidla je velmi závislá na adhezi k povrchům spojovaných materiálů a na kohezi samotného lepidla.

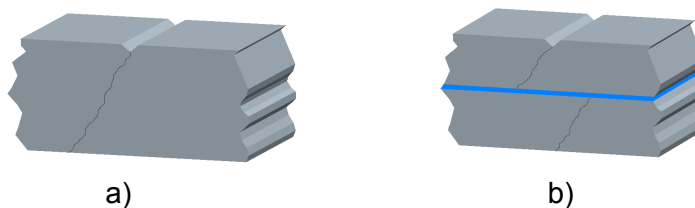
2.1.1. Vlastnosti lepených spojů

Spojování materiálů lepením je v dnešní době velice rozšířenou technologickou metodou například v automobilovém průmyslu, kde byla tato technologie dříve využívána jen jako doplňková. Dnes technologie lepení v některých případech nahrazuje tradiční metody konstrukčního spojování materiálů. Bude-li potřeba rozhodnout, zda použít technologii lepení, nebo dát přednost některé z jiných technologických metod spojování materiálů, je důležité znát podmínky, kterým bude spoj vystaven a vlastnosti jednotlivých technologií spojování materiálů. Neboť žádné z technologií spojování materiálů nemají jen výhody, ale mají i své nevýhody, které je nutné brát v úvahu.

2.1.1.1. Obecné výhody lepených spojů [1,4]

Mezi výhody lepených spojů patří:

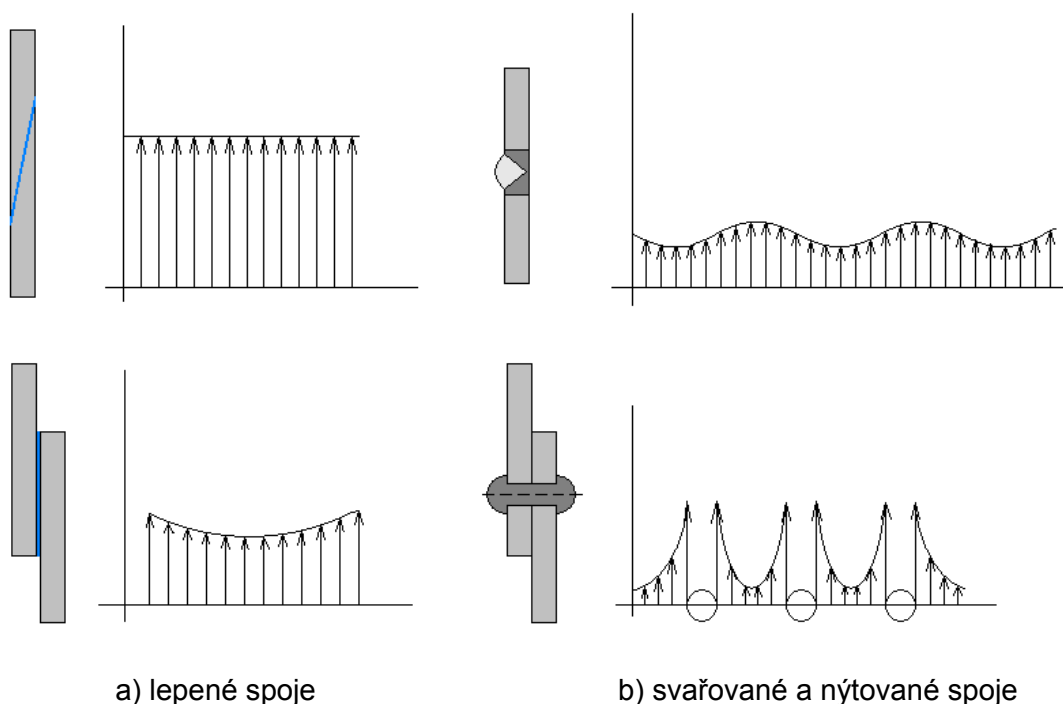
Zvýšení bezpečnosti při poruše – Na obrázku 2.1.1. je vidět, že v případě plného materiálu se trhlina šíří od vrubu celou součástí, zatímco v případě lepeného materiálu se trhlina šíří od vrubu jen k vrstvě lepidla, kde se zastaví. Houževnatá vrstva lepidla izoluje účinek vrubu. Je-li součást dále namáhána pokračuje šíření trhliny z jiného místa na druhé části materiálu. U lepené součásti nedojde k lomu okamžitě, je-li součást pravidelně kontrolována je možné poškozenou součást vyměnit včas.



Obr. 2.1.1. Omezení účinku vrubu vrstvou lepidla, a) průběh trhliny plným materiálem, b) průběh trhliny lepeným materiálem.

Zvýšení pevnosti – Velkou výhodou lepených spojů je zvýšení celkové pevnosti správně konstruovaného spoje. V jiných technologiích například při nýtování nebo šroubování je zasahováno do materiálu otvory, které zmenšují průřez spojované součásti a současně působí jako vruby. V těchto místech se koncentruje napětí a díl není možné zcela pevnostně využít. Pevnost lepeného spoje oproti svařovanému spoji není tak jednoznačné porovnat, v tomto případě bude záležet na mnoha faktorech.

Na obrázku 2.1.2. je porovnání průběhů napětí v jednotlivých spojkách.



obr. 2.1.2. Porovnání průběhů napětí ve spojkách

Možnost spojovat různé materiály – Velkou výhodou technologie lepení je možnost spojování různorodých materiálů, které není možné mezi sebou svařovat nebo materiály, které je možné svařit, ale dosažená pevnost svařeného spoje je pro

zvolenou konstrukci nedostačující. Lepení lze využít i pro materiály které se těžko nýtují nebo šroubují, bude-li tento spoj z konstrukčního a pevnostního hlediska výhodnější.

Rovnoměrné rozdělení síly v celé ploše spoje je schopné zajistit pouze lepení, zároveň lepení umožňuje použít takové materiály, které by se jinak nedaly vůbec využít, například keramiku, spékané kovy, atd.

Možnost miniaturizace – Běžné technologie spojování materiálů není možné použít ve všech případech, zvláště ne u velmi malých součástí, neboť nýty, šrouby či svary se nedají donekonečna zmenšovat úměrně s tím jak se zmenšují rozměry spojovaných dílů. Například v elektrotechnice, může být dobrým řešením lepení. Při lepení totiž nevzniká velké místní ohřátí jako je tomu u svařování. Tím pádem se díly nebortí a není nebezpečí ovlivnění vlastností spojovaných dílů.

Těsnost spoje po celé ploše, útlum vibrací – Součásti spojované technologií lepení jsou těsně spojené k sobě nejen v určitých místech, ale po celé ploše spojované součásti, kde vrstva lepidla působí jako izolant, který odděluje oba díly lepené součásti od sebe. Z tohoto důvodu nemůže docházet mezi plechy ke klepání ani k vibracím, čímž se výrazně snižuje hlučnost.

Lepení různých tlustých materiálů – Technologie lepení není limitována tloušťkou spojovaných materiálů. Bez problému lze lepit tlustý materiál s tenkým, což by u technologie svařování nebylo možné. Podobně je tomu při spojování velmi tenkých materiálů, kde bývá lepení často jediným řešením.

Variabilita rozměrů – Technologie lepení není limitována velikostí spojovaných ploch, jako jiné technologie.

Nedochází k ovlivnění struktury základního materiálu – Spojováním materiálů technologií lepení, nedochází k ovlivnění struktury základního materiálu jako například u svarů, kde se v blízkosti svaru nalézá teplem ovlivněná oblast, která se vyznačuje jinou strukturou než má původní materiál.

Vhodným řešením lepeného spoje nezasáhneme do konstrukce – Při spojování součástí technologií lepení není narušen povrch materiálu jako u jiných technologií spojování materiálů.

Možnost výroby spoje s dobrou elektrickou vodivostí nebo izolací – V závislosti na požadavcích konstrukčního spoje, je možné dosáhnout elektrické

vodivosti nebo elektrické izolace, bude-li to naším požadavkem.

Zvýšení korozní odolnosti kovových materiálů – Dochází-li v korozním prostředí (např. povětrnostní podmínky) k vodivému dotyku dvou kovů s rozdílným elektrochemickým potenciálem jako například u technologie nýtování nebo šroubování, vznikne tzv. galvanický článek a materiál s nižším potenciálem se začne rozpouštět. Při použití elektricky nevodivého lepidla k tomuto problému nedochází, v případě dokonalého oddělení obou kovů.

Technologií lepení je možné zjednodušit a zmenšit počet dílčích montážních celků, současně umožňuje spojování kovů a nekovů. Lepení je nejvýhodnější tehdy, převažují-li jeho přednosti.

2.1.1.2. Nevýhody lepených spojů

Technologie lepení, jako každá jiná technologie spojování materiálů se nevyznačuje pouze výhodami, ale má i své nevýhody. Důležité je zajistit takové podmínky při konstrukci spoje, aby výhody převažovali nad nevýhodami. Není-li možné toto zajistit, je potom výhodnější použít některou z běžných metod spojování materiálů. Mezi nevýhody patří:

Nerozebíratelnost spoje – Velkou nevýhodou lepených spojů oproti spojování materiálů šroubováním je, že lepený spoj neumožňuje pozdější úpravy.

Nízká pevnost v odlupu – Nevýhodou lepeného spoje je nízká pevnost v odlupování, kterou je nutné uvažovat při návrhu spoje. Je-li to možné, je z hlediska pevnosti výhodnější konstruovat spoj na namáhání smykem z důvodu jeho vyšší pevnosti.

Náchylnost spoje k tečení (ke creepu) – Vlivem dlouhodobého namáhání lepených spojů statickým namáháním, jsou některá lepidla náchylná ke creepu.

Nutnost vytvrzování – Většina používaných konstrukčních lepidel dosahuje požadované pevnosti až po vytvrzení. To znamená, že lepený spoj nemá nikdy stoprocentní pevnost okamžitě, jako u jiných technologií. Stoprocentní pevnosti dosahuje spoj až po vytvrzení lepidla, zatímco při použití lepidel kyanoakrylátového typu je pevnost téměř okamžitá. Tyto lepidla nepatří do příliš velké skupiny, spíše se využívají pro individuální činnost.

Nutnost úpravy povrchů před lepením – V technologii spojování materiálů lepením je důležité zajistit odmaštění a zbavení povrchu lepeného materiálu

mechanických nečistot, jelikož kvalita lepeného spoje závisí na čistotě povrchu a ta je důležitá pro přilnavost lepidla.

Výjimkou je automobilový průmysl, kde se v dnešní době lepí bez odmašťování povrchů.

2.1.1.3. Výhody lepených spojů pro automobilový průmysl

Těsnost lepených spojů – V automobilovém průmyslu se využívá výborných těsnících vlastností při lepení nádrží na benzín, kde je těsnost spoje skutečně důležitá.

Snížení výrobních nákladů – Z důvodu rovnoměrného rozdělení napětí je možné v lepených konstrukcích použít menší tloušťku materiálů, tím dochází jednak ke snížení hmotnosti celé karoserie a zároveň klesají výrobní náklady.

Nedochází k poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů – Výhodou technologie lepení je, že nenarušuje povrch materiálů jako jiné technologie, například svařování.

V automobilovém průmyslu se z důvodu špatné korozní odolnosti ocelových plechů používají pozinkované plechy, jejichž korozní odolnost je obecně dobrá.

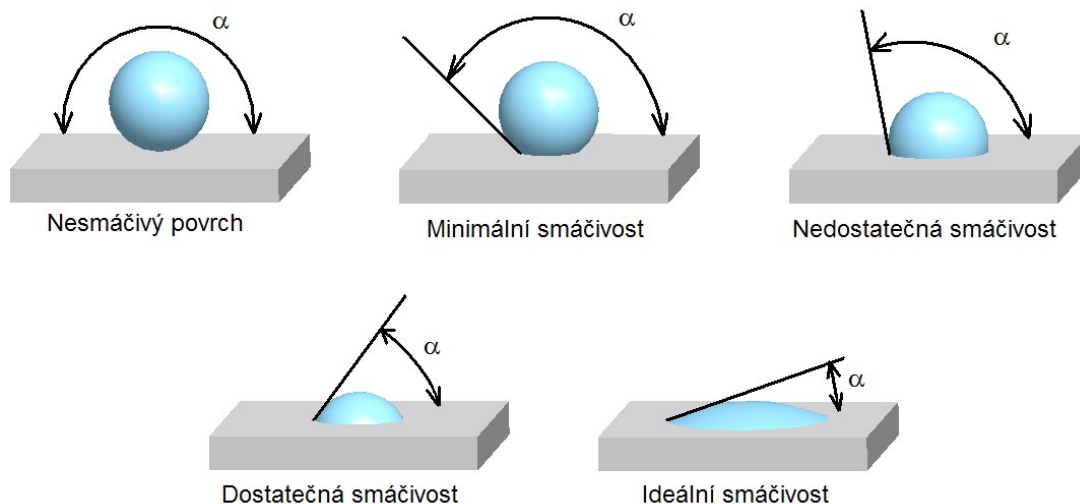
2.1.2. Teorie adheze a koheze [1,4,5,6]

2.1.2.1. Adheze

Adheze je popisována jako vzájemná přilnavost dvou povrchů, související s molekulovou strukturou lepidla. Je založená na působení fyzikálních sil (Van der Waalsovy síly), mezimolekulárních a chemických vazeb.

Van der Waalsovy síly jsou přitažlivé interakce působící mezi molekulami, které vznikají převážně mezi nepolárními molekulami a jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu. Van der Waalsovy síly jsou slabé fyzikální síly působící na velmi malou vzdálenost v desetinách nanometrů. Z důvodu malého dosahu těchto sil, je důležité aby lepidlo proniklo do povrchových nerovností a dobře smáčelo povrchy lepených materiálů.

Adheze je tedy závislá na dobré smáčivosti lepených povrchů lepidlem. Smáčivost povrchů se zkouší tzv. kapkovou metodou uvedenou na obr. 2.1.3, která souvisí z krajovým úhlem, který svírá okraj kapky vody s povrchem materiálu. Vzhledem k tomu, že nejvyšší povrchovou energii má voda, lze říci, bude-li povrch smáčen vodou, bude s velkou pravděpodobností smáčen i jinými kapalinami (lepidly).



Obr. 2.1.3 Smáčivost povrchu – kapková metoda

2.1.2.2. Vybrané teorie adheze [1,4,5,6]

V literatuře i v praxi je známo více teorií adheze. Výklady jednotlivých teorií se různě liší podle jednotlivých autorů a různým způsobem se prolínají. Teorie adheze se opírá o vztahy molekul a jejich vzájemné působení, souvisí tedy s molekulovou strukturou, z toho vyplývá uplatnění fyzikálních, mezimolekulárních a chemických sil při adhezi. Dále budou uvedeny některé teorie:

- difúzní teorie
- mechanická teorie
- molekulová teorie (adsorpční)

Další informací o teoriích adheze jsou uvedeny v literatuře pod číslem [1,4,5,6]

Difúzní teorie

Difúzní teorie adheze je založena na vzájemné difúzi polymerů nebo jiných materiálů, nejvíce se ale uplatňuje především při vzájemném lepení polymerů, při lepení kovů nebo anorganických materiálů se neuplatňuje, jelikož materiály vzájemně nedifundují.

Mechanická teorie

Mechanická teorie adheze vychází z teorie, že po zatečení lepidla do trhlin, puklin, pórů a nerovností povrchu, dojde po ztuhnutí a vytvrzení lepidla k jeho

zachycení v povrchu adherendu. Teorii ale nelze využít u materiálů, které nemají póry a jsou dokonale hladké, např. sklo. V dnešní době, se mechanické teorie využívá jen ve speciálních případech, jako například při lepení dřeva (výroba překližek) nebo při lepení pryžových směsí k textilním vláknům.

Molekulová teorie (adsorpční)

Molekulová teorie je založená na vzájemném působení molekul lepidla a lepeného materiálu s polárně funkčními skupinami molekul schopné vzájemného působení. Vznik adhezního spoje je následující: nejprve dochází k přemístění molekul lepidla k povrchu adherendu a následně se začnou uplatňovat mezimolekulární síly po přiblížení na vzdálenost menší jak 0,5 nm. Tento proces probíhá až do dosažení adsorpční rovnováhy.

Bude-li lepidlo s lepeným materiálem v dostatečném kontaktu na molekulární úrovni, Van der Waalsovy síly postačí k dobré adhezní pevnosti, v opačném případě bude pevnost malá.

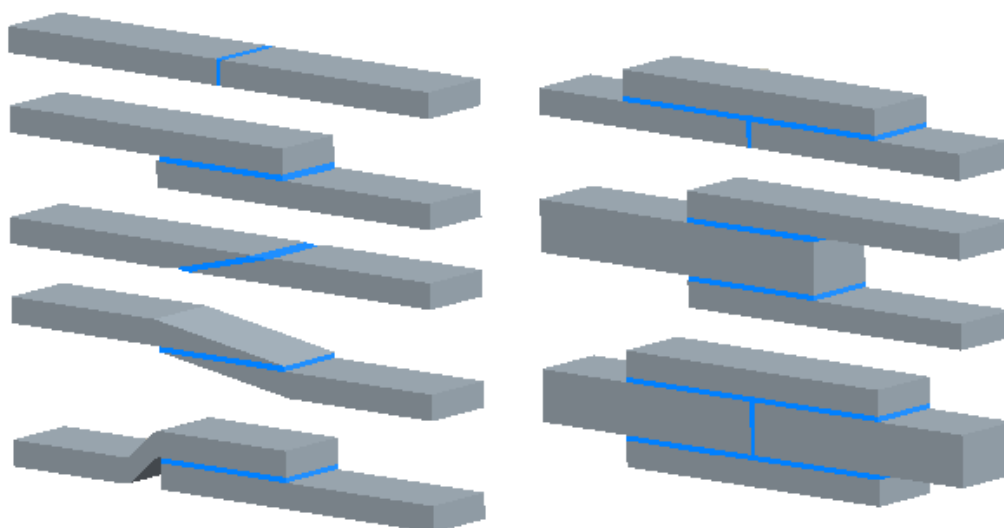
2.1.2.3. Koheze

Koheze (soudržnost) je souhrn sil, které působením vzájemných valenčních a mezimolekulárních sil poutají k sobě molekuly lepidla. Kohezní síly se nacházejí v lepidle a někdy se označují jako vnitřní adheze. Kohezní energie, která je zapotřebí k oddělení jedné částice lepidla od ostatních je dána velikostí koheze.

2.1.3. Rozdělení konstrukce lepených spojů [1,4]

Pro většinu aplikací je v praxi výhodnější použít přeplátovaných spojů, jejich mechanické vlastnosti jsou obecně lepší než u tupých spojů a tyto vlastnosti je možné ještě zlepšit různými výztužemi a zpevňujícími prvky. V některých případech je pro určité aplikace možné použít i tupé spoje. Na obr. 2.1.4 jsou uvedeny některé typy spojů.

Pevnost spoje a jeho odolnost při namáhání závisí jak na pevnosti adhesivní vazby, tak především na mechanických vlastnostech adherendu. Z toho vyplývá, že volbou konstrukce a materiálu spoje bude ovlivněno vnitřní napětí jež má vliv na celkovou pevnost spoje.



obr. 2.1.4. Typy lepených spojů

Tupý spoj

Je-li někde vyžadováno použití tupého spoje, měl by být konstruován tak, aby byl namáhán v tlaku, v krajním případě v tahu. Spojením dvou adherendů k sobě na tupo, se následným namáháním tohoto spoje v tahu, vytvoří v ose spoje takové vnitřní napětí, odpovídající zvětšení objemu lepidla. V každém případě bude záviset na mechanických vlastnostech adherendu a lepidla, zejména na modulu pružnosti .

Přeplátované spoje

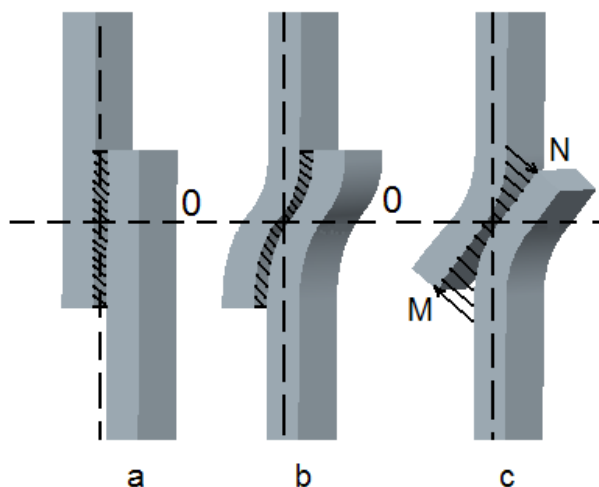
Přeplátované spoje jsou určeny k namáhání v tahu případně ve smyku. Z konstrukčního hlediska jsou přeplátované spoje výhodnější než tupé spoje z důvodu větší plochy spoje.

Průběh napětí ve spoji závisí na jeho konstrukci a podle toho se bude také měnit. Průběh napětí bude sledován na jednoduchém přeplátovaném spoji.

Při namáhání přeplátovaného spoje dojde k deformaci tohoto spoje, jak je vidět na obr. 2.1.5. Je si zde možné všimnout, že napětí je rozloženo nerovnoměrně. Zatím co na okrajích spoje má napětí největší hodnotu, tak nejmenší hodnotu má uprostřed v bodě 0. Postupem jak se bude spoj deformovat, dojde k tomu, že vnitřní napětí jenž vyvolala vnější tahová síla, bude mít různé směry. Z toho vyplývá, že spoj bude v poslední fázi namáhání na odlupování jež bude mít největší hodnotu na krajích spoje (body M,N). Vztahy ve spoji jsou ovlivňovány nejen tloušťkou lepené vrstvy a její plochou, ale i tloušťkou adherendu a jeho mechanickými vlastnostmi. Právě mechanické vlastnosti budou ovlivňovat tvarovou deformaci,

a tato změna tvaru urychlí porušení spoje.

Deformaci, která je vidět na obr. 2.1.5, je možné zmenšit nebo jí úplně zabránit, zvýšením tloušťky či pevnosti adherendu nebo použitím žebra či zpevňovací části.



Obr. 2.1.5. Deformace přeplátovaného spoje. a – stav bez napětí, b – začínající deformace lepeného spoje a adherendu, c – ukončená deformace adherendu, probíhá deformace lepidla

2.1.4. Lepidla a jejich rozdělení [1,4]

Způsobů rozdělení lepidel je mnoho, v podstatě každý výrobce, který se zabývá výrobou lepidel má svá vlastní kritéria dělení lepidel. V této práci bude použito dělení lepidel, které sice není nejpodrobnější, ale pro potřeby bakalářské práce postačí.

2.1.4.1. Rozdělení podle způsobu vytváření lepeného spoje

Jedním z takových přiblížení je rozdělení podle způsobu vytváření lepeného spoje, které by mělo postačit pro odlišení základních rozdílů. Podle tohoto způsobu jsou tedy lepidla rozdělena následovně:

Lepidla roztoková nebo disperzní – tuhnou vsáknutím nebo odpařením rozpouštědla v nich obsažených.

Lepidla citlivá na tlak – například lepicí pásy, kde spoj vznikne po lehkém přitlačení například papírku nebo fólie s naneseným lepidlem.

Lepidla tavná – aby spoj vůbec vzniknul je nutné lepidlo nejprve uvést do kapalného stavu, spoj pak vznikne ztuhnutím taveniny

Lepidla vytvrzující chemickou reakcí – lepidla dělená podle teploty vytvrzovací

reakce se v praxi dělí na studená a horká. Vytvrzovací reakce je pak možné dělit do tří typů: polykondenzace, polyadice a polymerace.

2.1.4.2. Rozdělení podle chemického základu

Patrně nejdůležitější rozdělení lepidel je podle chemického základu, v praxi často používané. Zde budou uvedeny jen některé druhy lepidel.

Dělení lepidel se v jednotlivých literaturách liší. Další informace a dělení lepidel je uvedeno v literatuře pod číslem [1,4].

Kaučuková lepidla

Dělení kaučukových lepidel:

Kaučuková lepidla: – nevulkanizující
 – vulkanizující – samovulkanizační
 – vulkanizující za zvýšené teploty

Kaučuková lepidla se vyrábějí z přírodního či syntetického kaučuku a jak je výše uvedeno jsou vulkanizující a nevulkanizující. Nevulkanizující lepidla mají oproti těm vulkanizujícím podstatně menší pevnost spoje. Vulkanizační kaučuková lepidla obsahují vulkanizační přísady a většinou vulkanizují v rozmezí teplot 140 až 150°C. Samovulkanizační kaučuková lepidla obsahují navíc kromě vulkanizačních přísad ještě aktivátory a urychlovače, které umožňují vulkanizaci i za nízkých teplot 25 až 30°C.

Kaučuková lepidla mohou být ve formě roztoků v rozpouštědle, vodní disperze nebo ve formě polotuhého tmelu či pasty. Roztoky se obecně připravují v aromatických uhlovodících. Roztoky kaučuku jako nevulkanizovatelná lepidla obsahují pro zvýšení lepivosti deriváty kalafuny a často též antioxidanty. Tyto lepidla rychle schnou a hodí se tudíž pro práci s velkou rychlostí, navíc jsou spoje odolné proti rázům. Lepidla mohou být připravena s různou viskozitou, jejich nevýhodou je hořlavost a toxicita.

Latexy jsou koloidní disperze přírodního kaučuku, obsahující většinou pryskyřice a plniva. Tyto spoje jsou pevnější, mají menší lepivost než spoje lepené roztokovými lepidly ale lépe odolávají stárnutí. Má-li být zvýšena adheze k neporézním materiálům, jako je například sklo, musí být přidán křemičitan sodný nebo koloidní oxid křemičitý.

Z přírodního kaučuku i z regenerátu se vyrábějí například lepicí pásy kde jejich nosičem je buď plast nebo textil.

Epoxidová lepidla

V dnešní době se vyrábí hodně druhů různých epoxidových pryskyřic, jež se od sebe liší viskozitou, mohou být od nízkoviskózních tekutin až po tuhé látky s vysokou teplotou tání. Epoxidová lepidla mohou být jednosložková i dvousložková. Lepidla která jsou určena pro práci při vyšších teplotách, jsou oproti lepidlům pro práci při nižších teplotách křehčí a potřebují vyšší vytvrzovací teploty.

Odolnost proti vlivu prostředí a stejně tak tepelná odolnost nebo i malá pevnost epoxidových lepidel v odlupování je možné vhodnou modifikací zlepšit. Tím dostaneme výborná konstrukční lepidla, která se používají ve většině průmyslových odvětvích. Podle složení je možné epoxidová lepidla používat až do teplot 260°C. Při těchto teplotách se mohou zahřívat až několik set hodin, krátkodobě pak snesou i 540°C. Velkou výhodou těchto lepidel je, že nepotřebují přetlak, přetlaku je použito jen ke slícování lepených ploch.

Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy mají dobrou odolnost v odlupování, jsou houževnatá, spoje snášejí trvale teplotu 100°C a mají i slušnou pevnost v odlupování za mrazu. Tato lepidla se dají používat za nízkých teplot.

Epoxidová lepidla se uplatňují v letectví a zejména v automobilovém průmyslu jako vysoce kvalitní konstrukční lepidla na kovy.

2.1.5. Zkoušky lepidel a lepených spojů [1,4,7,8]

Zkoušky lepidel a lepených spojů se provádějí pro zjištění vlastností lepidel a lepených spojů a jejich kvality. Dále se zjišťuje jestli lepidlo má takové vlastnosti jaké jsou od něj očekávány dle materiálových listů. Ověřuje se správnost konstrukce.

2.1.5.1. Zkoušky lepených spojů

Zkoušky lepených spojů slouží k zjištění mechanických vlastností spojů. V praxi se zkoušky dělí na dvě hlavní skupiny, destruktivní a nedestruktivní:

a) Destruktivní zkoušky

- statické zkoušky

- 1) Pevnost v odlupování
- 2) Pevnost ve smyku

- dynamické zkoušky

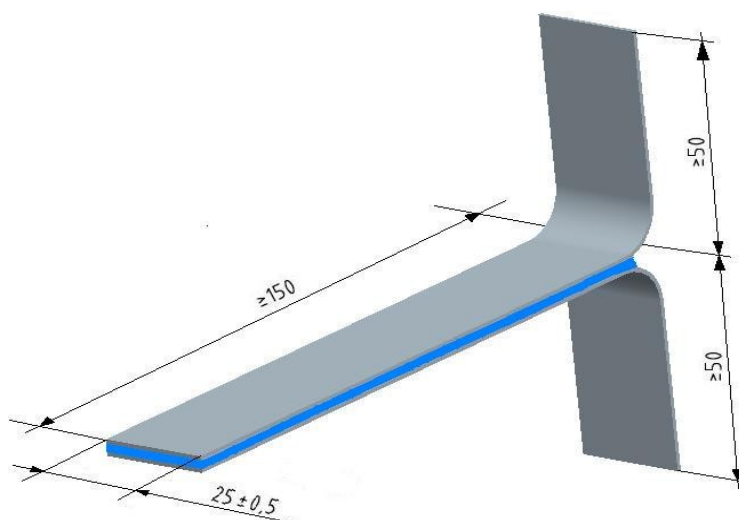
- 1) Rázová pevnost
- 2) Zkouška na únavu lepených spojů

b) Nedestruktivní zkoušky

Při těchto zkouškách se využívá akustické, vyzařovací a elektrické metody. Jejich úkolem je zjistit případné vady ve spoji a přitom spoj neporušit.

Pevnost v odlupování podle ISO 11 339

Při zkoušce v odlupování je zkušební vzorek namáhán tahovou silou ve směru kolmém na spoj. Pevností v odlupování je pak udávána síla N.mm^{-1} působící na šířku vzorku, která je potřebná na oddělení dvou slepených ploch. Tvar a rozměry vzorků jsou na obrázku 2.1.6



obr. 2.1.6 Rozměry vzorku pro pevnost v odlupu podle ISO 11 339

Vzorek je nejprve nastříhán na rozměry viz. obr 2.1.6 a následně je pro provedení zkoušky nutné konce vzorku ohnout pod úhlem 90° . Vzorek je dále odmaštěn a zbaven mechanických nečistot. Následně podle požadavků zkoušky je na povrch vzorku nanese určité množství maziva, nebo je povrch vzorku ponechán odmaštěný. Následuje nanesení patřičného množství lepidla ve formě tzv. „housenky“ a na něj jsou položeny distanční drátky zajišťující přesné vymezení distance mezi adherendy, aby při zafixování spoje byla dodržena stejná vrstva lepidla po celé ploše. Vzorky jsou následně stlačeny k sobě a zafixovány svěrkami. Následuje vytvrzení lepidla podle určitého teplotního režimu. Na závěr jsou vzorky ponechány 24 hodin chladnout, tzv. kondicionace a teprve pak je možné provést zkoušku v odlupování. Vzorek je upnut za ohnuté konce a měří se střední hodnota pevnosti v odlupování. Pevnost v odlupování získáme ze vztahu:

$$F_{sab} = \frac{F_s}{b} \quad (2.1)$$

kde:

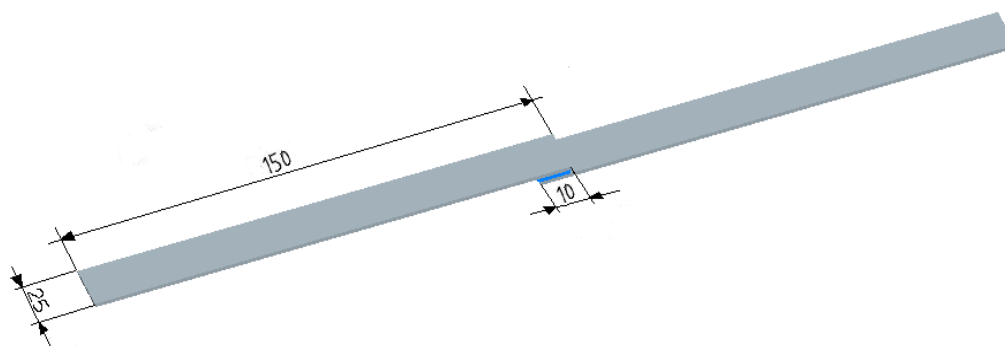
F_{sab} střední pevnost v odlupování v [N.mm⁻¹]

F_s průměrná síla [N]

b šířka lepeného spoje [mm]

Pevnost ve smyku podle VW PV 12.35

Při této zkoušce je zkušební vzorek namáhán ve smyku statickým tahem a to ve směru podélné osy až do porušení spoje. Tvar a rozměry zkušebních vzorků jsou vidět na obrázku 2.1.7. Pevnost ve smyku je pak udávána v MPa.



obr. 2.1.7. Vzorek pro zkoušku pevnosti ve smyku podle PV 12.35

Vzorek je nejprve nastříhán na rozměry na obr. 2.1.7, odmaštěn a zbaven hrubých nečistot. Následně podle požadavků zkoušky je na povrch vzorku nanесeno určité množství maziva, nebo je povrch vzorku ponechán odmaštěný. Následuje nanесení patřičného množství lepidla ve formě tzv. „housenky“ a na něj jsou položeny distanční drátky zajišťující přesné vymezení distance mezi adherendy, aby při zafixování spoje byla dodržena stejná vrstva lepidla po celé ploše. Vzorky jsou následně stlačeny k sobě a zafixovány svěrkami. Následuje vytvrzení lepidla podle určitého teplotního režimu. Na závěr jsou vzorky ponechány 24 hodin chladnout, tzv. kondicionace a teprve pak je možné provést zkoušku smykové pevnosti v tahu a vyhodnocení výsledků zkoušky.

Vyhodnocuje se mez pevnosti ve smyku které bylo dosaženo a druh porušení spoje. Pevnost ve smyku je získána ze vztahu:

$$\bar{\tau} = \frac{F_{max}}{b} \quad (2.2)$$

kde:

τ smyková pevnost při namáhání tahem [MPa]

F_{max} maximální tahová síla [N]

S plocha lepeného spoje [mm²]

2.1.5.2. Hodnocení porušení lepeného spoje podle ČSN ISO 10 365

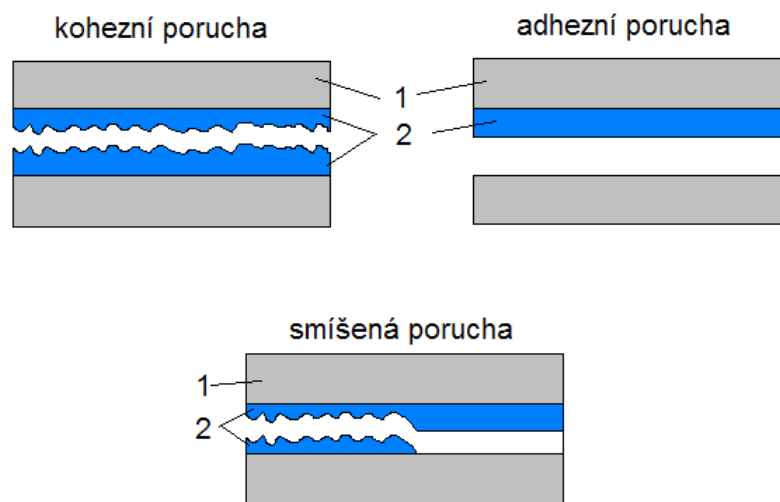
Kromě naměření pevností v odlupování a ve smyku je nutné ještě vyhodnotit typy porušení lepených spojů, kterých je několik typů. Zde budou uvedeny základní z nich:

Kohezní porušení (CF) – kohezní porušení znamená, že se lepený spoj poruší uprostřed lepidla, což je nejpříznivější výsledek při hodnocení. Je-li pak tento kohezní lom spojen ještě s vysokou nebo přijatelnou hodnotou pevnosti v odlupování nebo smyku, je kohezní lom nejlepší z daných porušení. Kohezní porušení je vidět na obr. 2.1.8.

Adhezní porušení (AF) – adhezní porušení znamená, že lepidlo zůstane na jedné nebo druhé straně vzorku a druhá lepená plocha zůstane bez lepidla, čistá a lesklá. Nastane-li adhezní porušení spoje, lze jej klasifikovat jako nevyhovující, je-li naměřená pevnost v odlupování či smyku nižší než požadovaná konstrukcí, nebo ještě přijatelné je-li naměřená hodnota pevnosti v odlupování či smyku v souladu s požadavkem konstrukce. Na obr. 2.1.8. je vyobrazena čistě adhezní porucha.

Smíšená porucha (SCF) – speciálně kohezní porušení znamená, že se spoj poruší na rozhraní lepidla a adherendu, ale ne uprostřed. Smíšená porucha je kombinace adhezního a kohezního lomu. Na obr. 2.1.8. je vidět příklad speciálně kohezní poruchy.

Do vyhodnocovacího formuláře se uvede typ porušení a za něj procentuální zastoupení dané poruchy.



Obr. 2.1.8 Vlevo kohezní porucha, uprostřed smíšená porucha a vpravo adhezní porucha, 1- adherend, 2- lepidlo

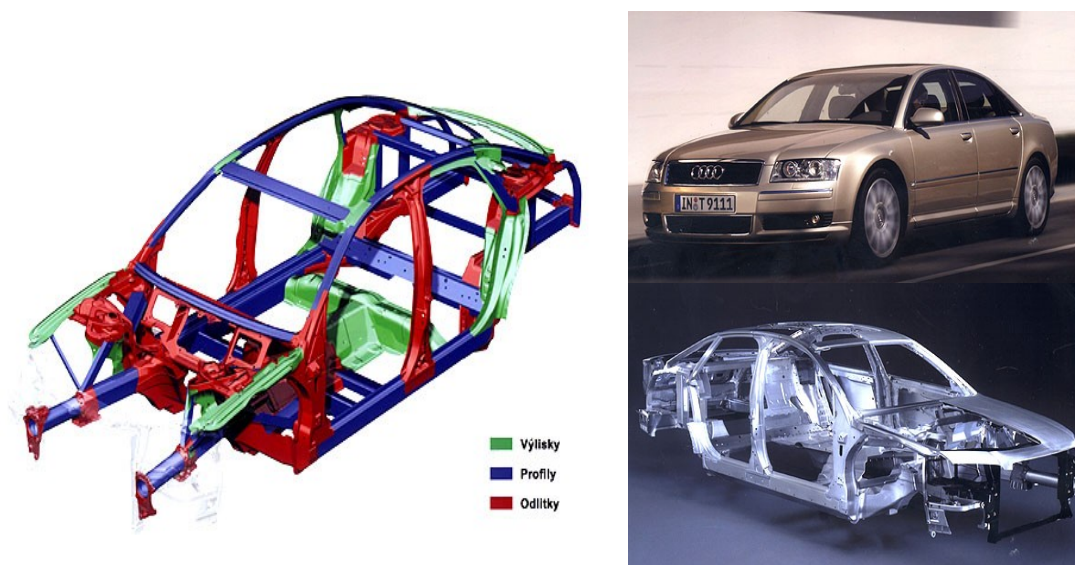
2.2. Hliník a jeho slitiny

2.2.1. Výroba a použití hliníku [9,10,11]

Současná finanční krize, která se přenesla i do jiných oblastí než jen do finančního sektoru, výrazně ovlivnila automobilový průmysl, kde klesla výroba úměrně s poklesem poptávky po automobilech ze strany spotřebitelů. Je tedy možné, že krize bude mít vliv i na výrobu hliníku, který byl až do roku 2008 nejprodukovanějším kovem z neželezných kovů.

Takovou hlavní hybnou silou pro vzrůst jeho produkce byl automobilový a letecký průmysl. Kde kromě bezpečnosti je požadováno snížení spotřeby paliva, čehož lze dosáhnout snížením hmotnosti konstrukce.

V dopravním sektoru je tedy největším důvodem použití hliníkových slitin jejich nízká hmotnost. Na obr. 2.2.1 je zobrazeno zastoupení hliníkových slitin na konstrukci karoserie Audi A8



Obr. 2.2.1. Karoserie automobilu Audi A8

Výroba hliníku v průmyslovém měřítku započala teprve roku 1859, přestože je hliník nejvíce zastoupen v zemské kůře. V přírodě se hliník nachází asi v 250 různých minerálech, mezi nejdůležitější patří korund, diaspor, boehmit, gibbsit, spinel, kyanit, andaluzit, silimanit, kaolinit, alunit a nefelín. Hliník se v přírodě nachází vždy ve sloučeninách nikdy ne v kovové formě.

Nejvýznamnější ekonomicky využitelnou rudou pro výrobu hliníku je bauxit.

Název bauxit neodpovídá přímo speciálnímu minerálu, ale je to hornina, která se skládá většinou z hydratovaných oxidů hliníku. Nejdůležitějším minerálem bauxitu je gibbsit, dále obsahuje boehmit a diaspor. V závislosti na bohatosti rudy se jedna tuna hliníku získá ze čtyř až šesti tun bauxitu. V dnešní době se výroba hliníku z bauxitu odhaduje na 130 miliónů tun ročně. 123 mil. tun z tohoto množství se použije na výrobu Al_2O_3 metalurgické jakosti a zbytek na speciální účely. Z bauxitu se vyrábí primární hliník, zatímco sekundární hliník je získáván recyklací.

Na výrobu čistého oxidu hlinitého z rud existuje několik způsobů výroby, prakticky se ale průmyslově používají jen některé z nich. Oxid hlinitý lze získávat zásaditými, kyselými a také elektrotermickými metodami, v současné době se téměř výlučně na výrobu oxidu hlinitého používají zásadité metody. Výroba samotného hliníku pak může probíhat několika způsoby z nichž se nejvíce využívá elektrolyza, která má největší komerční převahu.

V tabulce 2.2.1. je procentuální obsah Al_2O_3 v nejvýznamnějších minerálech.

Tabulka 2.2.1. Přehled běžných minerálů hliníku

Minerál	Chemický vzorec	Hmot. % Al_2O_3
korund	Al_2O_3	100
diaspor, boehmit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	85
gibbsit (hydragilit)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	65,4
spinel	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$	71
kyanit, andaluzit, silamanit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	63
kaolinit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	39,5
alunit	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$	37
nefelín	$(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	32,3 – 35,9
leucit	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	23,5
sericit	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	38,4

2.2.2. Vlastnosti hliníku a jeho slitin [10]

Vhodná kombinace fyzikálních, mechanických, chemických a technologických vlastností umožňují uplatnění hliníkových materiálů téměř ve všech oblastech lidského působení. V tabulce 2.2.2. jsou uvedeny některé fyzikální vlastnosti hliníku.

Tabulka 2.2.2. Některé fyzikální vlastnosti hliníku

<i>Vlastnosti</i>	<i>Hodnoty</i>
Mřížka	Kobická plošně centrovaná
Hustota	2,6989 g.cm ⁻³ (při 20°C)
Teplota tavení	660,4 °C
Teplota varu	2494 °C
Tepelná vodivost	247 W.m ⁻¹ (při 25°C)
Elektrická vodivost	62% (Al 99,8) 65 – 66% (Al 99,999+)
Objemová změna při krystalizace	6,50%
Elektrický odpor	26,2 nΩ.m (Al 99,999+ při 20°C) 26,55 nΩ.m (Al 99,8 při 20°C)

Aplikace fyzikální metalurgie u hliníku a jeho slitin je důležitá z hlediska znalosti a využití možnosti vlivu chemického složení, tváření a tepelného zpracování na mechanické a technologické vlastnosti. Nalegováním jednoho nebo více prvků změníme složení původního materiálu a tím i jeho vlastnosti. Například přidáním Cu a Mg (slitiny známé jako duraly) lze zvýšit pevnost, legováním Ag se zvyšuje korozní odolnost některých slitin, Si zase zlepšuje slévarenské vlastnosti, B pak zlepšuje elektrickou vodivost technicky čistého Al. Vliv dalších prvků jsou uvedeny v literatuře pod číslem [10].

Souhrnem fyzikálních a mechanických vlastností jsou získány technologické vlastnosti materiálů, které umožní vyrobek požadovaným způsobem. Mezi nejdůležitější technologické vlastnosti patří svařitelnost, slévatelnost, obrobitelnost a tvárnost. Je-li materiál vhodný ke zvolenému zpracování, či nikoliv se zkouší speciálními zkouškami. Tyto zkoušky bývají většinou součástí dodacích podmínek.

Tváření hliníku a jeho slitin

Tvárnost umožňuje přetvoření materiálu do požadovaného tvaru a rozměrů při působení vnějších sil, zároveň nesmí při tomto přetvoření dojít k porušení celistvosti materiálu. Na tvárnost materiálu má vliv především typ mřížky, teplota tváření, chemické složení, stav tepelného zpracování a druh napjatosti. Tvárnost hliníku je velmi dobrá jak za studena tak za tepla. Hliník se převážně tváří za studena.

Základem technologie tváření jsou velké plastické deformace, při kterých se neustále mění tvar a rozměry tělesa. Odpor kovů proti plastické deformaci je charakterizován přetvárným odporem, který závisí především na teplotě a rychlosti deformace, dále na napjatosti, stupni deformace a na tření mezi nástrojem a materiálem.

Při tváření plechů hlubokým tažením je důležitým požadavkem malé tření mezi nástrojem a materiálem, z tohoto důvodu je nutné použít mazivo, které napomáhá tažení.

Mechanické vlastnosti

Nejčastějším kritériem, jež rozhoduje o vhodnosti použití materiálu, kvůli velkému praktickému významu, jsou mechanické pevnostní vlastnosti. Mezi základní mechanické vlastnosti patří zkoušky tlakem a tahem, zkoušky tvrdosti a vrubové houževnatosti. U hliníku a jeho slitin se pro zkoušku tvrdosti často využívá měření podle Brinella a dosahuje od hodnot 15HB pro čistý hliník až po 140HB u vysokolegovaných vytvrzovaných slitin. Zkoušky vrubové houževnatosti nemají u hliníku a jeho slitin velký praktický význam jako zkoušky tahem nebo tvrdosti. Nejčastěji se používá zkouška tahem, kde je zjišťována mez pevnosti, tažnost a kontrakce. Mechanické vlastnosti výrobků z hliníkových slitin se výrazně liší v závislosti na typu slitiny a výrobku, ale závisí i na stavu tepelného zpracování, tloušťce výrobku a směru odběru vzorku. Obecně lze říci, že pevnost materiálů s rostoucím obsahem legujících prvků rostou. U slévárenských slitin bývá většinou větší obsah prvků ale nižší pevnost. To je způsobeno tím, že litá struktura je hrubozrnná a nehomogenní. Mechanické vlastnosti se mění se změnou teploty, se zvyšující se teplotou poměrně rychle klesá mez pevnosti a tvrdost, zatím co tažnost a kontrakce se zvyšují.

2.2.3. Úprava povrchu hliníku a jeho slitin [10]

Anodická oxidace hliníku [10]

Cílem povrchových technik a následných činností je dosažení „funkčních povrchů“, z důvodů vysokých nároků na povrchy materiálů.

Neupravený hliník vytváří na svém povrchu vlivem atmosféry vrstvu oxidů, které ho chrání před další oxidací. Tato vrstva je ale velmi tenká (po několika měsících až 0,5 μm) a snadno se tedy poškodí. Anodická oxidace (nebo též elektrolytická oxidace – ELOX) se využívá, aby se na povrchu hliníku vytvořila kompaktní vrstva oxidů, která je tvrdá a chrání eloxovaný hliník proti korozi a mechanickému poškození. Různými postupy anodické oxidace lze vytvořit dekorativní, funkční a barevné oxidické vrstvy. Hliník získává stálost a odolnost proti korozi teprve po anodické oxidaci, zároveň se i dobře ošetřuje. Kovové vlastnosti zůstanou zachovány a eloxovaný hliník se dá znovu použít k dalšímu zpracování. Eloxované hliníkové slitiny mají mnoho předností, dobrou zpracovatelnost a vysoká pevnost zaručuje umožňuje téměř neomezené tvarování.

Množství elektrolytů vyvinutých pro anodickou oxidaci hliníku je velmi široké. V současné době existuje mnoho technicky možných metod anodické oxidace, tyto různé varianty umožňují oxidické vrstvy s velmi různorodými vlastnostmi.

3. Experimentální část

3.1. Cíl experimentu

Zadání bakalářská práce vycházelo z potřeb automobilového průmyslu a její řešení bylo ve spolupráci katedry strojírenské technologie a předního výrobce automobilů ŠKODA AUTO a.s. Cílem práce bylo experimentálně ověřit kvalitu lepených spojů z hliníkových slitin, které jsou z důvodu celkového odlehčení karoserie automobilu stále více využívány při výrobě dílů karosérie. V rámci experimentálního měření byly provedeny testy tří vybraných lepidel používaných na lepení pro hliníkové plechy a zjišťována pevnost lepeného spoje v závislosti na použitém mazivu.

Pro experiment byl vybrán jako adherend k lepení plech ze slitiny hliníku s označením AW 6016 EDT, používaný na výrobu karosářských dílů. Testovaná lepidla Betamate 1040, Betamate 1496F a Sika Power 492G-LVP pocházející ze stejné skupiny typu tzv. lepidla epoxidová, ale s různými vlastnostmi, které jsou popsány u jednotlivých lepidel v následujícím textu.

Jelikož se v automobilovém průmyslu technologie lepení realizuje na plechách s naneseným mazivem, to se na plechy nanáší před tvářením a napomáhá operaci tažení, bylo k vybraným lepidlům vhodným na lepení hliníku, adherendům ze slitin hliníku doporučeno také mazivo Multidraw DRYLUBE E1, které se používá zejména pro tváření plechů ze slitin hliníku.

Vzhledem ke skutečnosti, že výše zmíněná kombinace lepidel, maziva a plechu z hliníkové slitiny nebyla na katedře strojírenské technologie doposud testována, byly vytvořeny dvě skupiny vzorků, které tak měly stanovit kvalitu lepeného spoje pro zvolené komponenty. Jedna série vzorků, na které bylo nanесeno mazivo v požadovaném množství a druhá série byla testována bez použití maziva.

Pro testování kvality lepidel a tedy lepených spojů byly vybrány dvě základní destrukční zkoušky, které zjistí kvalitu lepeného spoje, neboť spoj namáhaný na odlup vykazuje horší mechanické vlastnosti, než spoj namáhaný smykem.

1. Zkouška pevnosti v odlupu dle ISO 11 339 (T-zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů), kde se zjišťuje střední pevnost v odlupování.

2. Zkouška pevnosti ve smyku pro karosářské plechy jako koncernová norma dle VW PV 12.35 pro určení smykové pevnosti strukturních lepidel, kde se zjišťuje smyková pevnost při namáhání tahem.

Pro hodnocení kvality lepeného spoje s ohledem na typ porušení bude následně po vyhodnocení pevnosti lepených spojů dle příslušných norem, hodnocen typ porušení spoje určovaný dle ČSN ISO 10 365, podmínky vyhodnocování byly popsány v kapitole 2.1.5.2.

Vlastní měření experimentální části bakalářské práce je rozděleno do následujících částí:

- příprava vzorků
- vlastní lepení
- vyhodnocení pevnosti a typu porušení spoje

3.2. Příprava vzorků

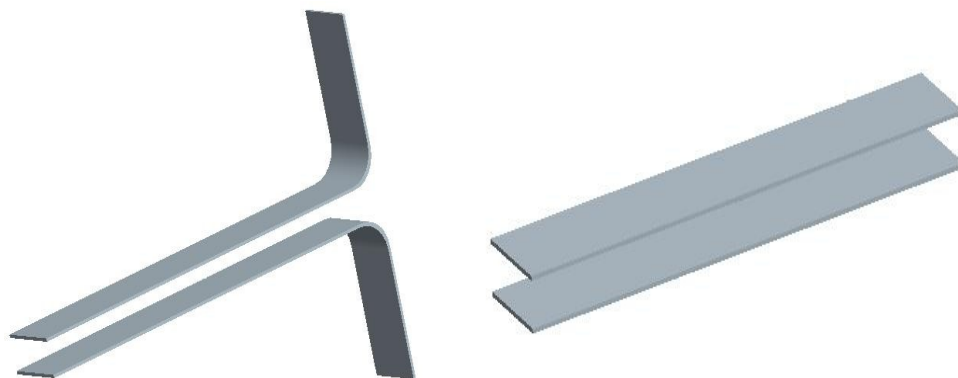
3.2.1. Použitý adherend na vzorky

Pro zjištění pevnosti lepených hliníkových spojů byl zvolen jako adherend (základní materiál) plech z hliníkové slitiny s označením AW 6016 EDT, střední hodnota tloušťky $t = 1,04$ mm, změřena digitálním posuvným měřítkem. Tyto plechy se používají na výrobu dílů karoserie automobilu, vyrobeny ze slitiny obsahující prvky Al, Mg, Si. Tato slitina se vyznačuje dobrou slévateľností a odolností vůči korozi, na druhou stranu má tato slitina zhoršenou mechanickou obrobiteľnost.

Tab. 3.2.1. Mechanické vlastnosti plechu AW 6016 EDT

Mechanické vlastnosti plechu AW 6016 EDT		
Mez pevnosti v tahu – R_m	220	MPa
Smluvní mez kluzu – $R_{p.02}$	185	MPa
Modul pružnosti v tahu – E	69,5	GPa

Vzorky pro experimentální část měření bakalářské práce, byly připraveny dle popisovaných norem ISO 11 339 a VW PV 12.35 tj. pro zkoušku pevnosti lepených spojů v odlupu i ve smyku, se skládají ze dvou dílů pásků plechu viz. obr. obr. 3.2.1. a jejich příprava je popsána v následující kapitole.



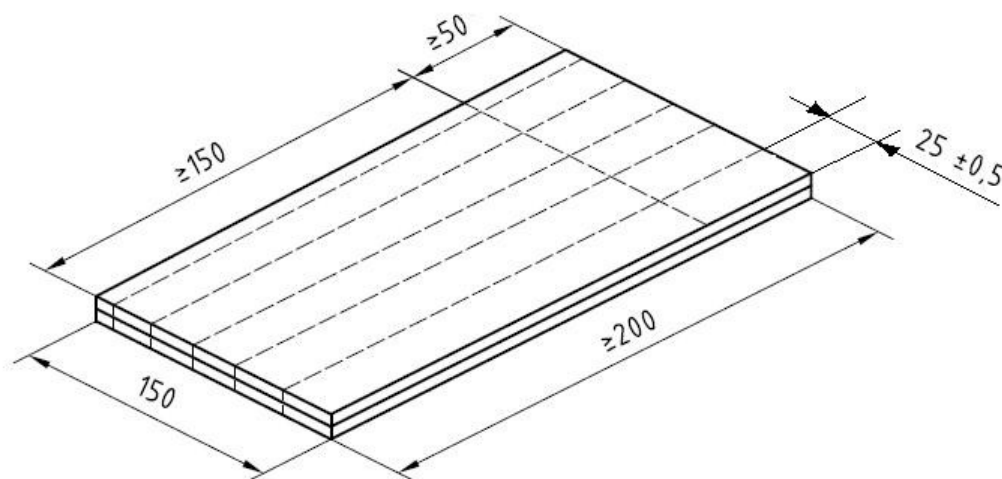
Obr. 3.2.1. Vlevo část vzorku pro ISO 11 339 a vpravo část vzorku pro VW PV 12.35

3.2.2. Nastříhání vzorků

Vzorky z plechu ze slitiny hliníku s označením AW 6016 EDT byly nastříhány na tabulových nůžkách (viz.obr. 3.2.4) na rozměry dle příslušných norem ISO 11 339 a VW PV 12.35.

● ISO 11 339

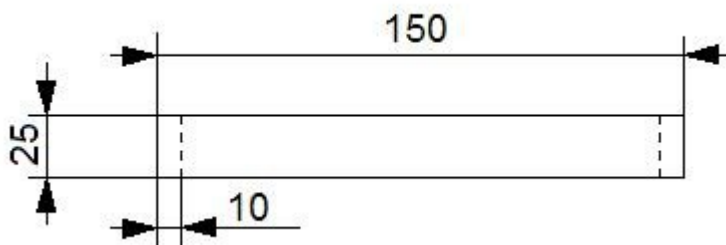
Dle normy ISO 11 339 byl nastříhán normalizovaný počet vzorků o rozměrech 200mm x 25mm podle obrázku 3.2.2. Vzorky byly následně ohnuty na výstředníkovém lisu (obr. 3.2.5) pod úhlem 90° ve vzdálenosti 50mm od kraje z důvodu uchycení vzorků na trhací zařízení.



Obr. 3.2.2 Rozměry vzorků (mm) dle normy ISO 11 339

● VW PV 12.35

Dle normy PV 12.35 byl nastříhán normalizovaný počet vzorků o rozměrech 150mm x 25mm podle obrázku 3.2.3. Vzorky byly následně orýsovány rýsovací jednou na obou koncích ve vzdálenosti 10mm od okraje, z důvodu dodržení daného rozměru přeplátování u slepování obou částí vzorků k sobě.



Obr. 3.2.3. Rozměry vzorku (mm) podle normu VW PV 12.35

● Použitá zařízení na přípravu vzorků

Tabulové nůžky a výstředníkový lis z dílen katedry strojírenské technologie, na kterých byly vzorky připravovány.



Obr. 3.2.4 Tabulové nůžky



Obr. 3.2.5 výstředníkový lis

3.2.3. Očištění a odmaštění vzorků

Nastříhané sady vzorků byly následně zbaveny nečistot a mastnoty ponořením do přípravku D – SOL 100, ze kterého byly postupně vyjmuty a následně osušeny bavlněným hadříkem. Odmaštění vzorků bylo provedeno z důvodu očištění původních konzervačních maziv nanášených v hutích, současně s odmaštěním byly ze vzorků odstraněny mechanické nečistoty, které se na vzorky dostaly při jejich stříhání a ohýbání.

● Použitý odmašťovací přípravek

D – SOL 100 je odmašťovací přípravek obsahující kapalné uhlovodíky – alkany. Za běžných podmínek je použitý odmašťovací přípravek kapalný. Jeho bod tuhnutí je pod -30°C a bod vzplanutí má 56°C . Tento přípravek je hořlavý a výbušný. Další specifikace přípravku jsou uvedeny v materiálovém listu č. [1]

3.2.4. Nanesení maziva

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.1., jsou navrženy dvě varianty, kdy pevnost lepených spojů na hliníkovém substrátu bude testována s mazivem naneseným na vzorcích a bez naneseného maziva.

Oba soubory vzorků pro jednotlivé zkoušky byly rozděleny na dvě části. Jedna část vzorků byla ponechána bez maziva a na druhou část vzorků bylo nanášeno mazivo v množství 2 g/m^2 .

U vzorků pro zkoušku v odlupování bylo mazivo nanášeno po celé ploše vzorku a na obě části budoucího slepeného spoje.

U vzorků pro zkoušku ve smyku bylo mazivo nanášeno pouze na jeden orýsovaný konec vzorku, tedy na plochu o rozměrech $10\text{mm} \times 25\text{mm}$ na obě části vzorku.

Pro odlišení jednotlivých sad vzorků testovaných s mazivem a bez maziva byly vzorky s naneseným mazivem označeny křížkem.

● použité mazivo

Na rozdíl od klasické technologie lepení, kde se lepidlo nanáší na očištěný a odmaštěný povrch, jsou plechy určené pro stavbu karosérie spojované lepením opatřeny mazivem. V automobilovém průmyslu je mazivo používáno pro zajištění operace tažení, zabránění vzniku kovového styku mezi materiálem nástroje a výliskem a zároveň chrání povrch plechů před korozí.

Typů maziv pro tváření se používá celá řada a vyjmenovat jejich rozdělení a vlastnosti jednotlivých maziv by přesáhlo obsahový rámec bakalářské práce, informace zabývající se touto problematikou je možné najít v odborných publikacích a literaturách [12,13,14] a v bakalářské práci není podrobněji rozepisována.

Mazivo pro experimentální měření bylo zvoleno na základě výběru adherendu tzn., že jeho vhodnost použití je učena pro tažení plechů z hliníkových slitin.

Použité mazivo **MULTIDRAW DRYLUBE E1**, je typem Hotmelt, to znamená, že za normální teploty má vzhled vosku a teprve při zvýšení teploty mění své

vlastnosti. Tato vlastnost maziva komplikuje jeho aplikaci při nanášení na povrch adherendu, neboť mazivo musí být ohřáté na 70°C, jelikož při poklesu teploty pod 40°C začíná tuhnout.

Mazivo je na bázi minerálních olejů, obsahuje rozpustné uhlovodíky a je odolné proti stárnutí. Zároveň má dobré kluzné vlastnosti a velmi dobrou korozní odolnost. Základní údaje o mazivu viz tabulka 3.2.2 ,další specifikace maziva jsou popsány v materiálovém listě viz příloha číslo [2]

Tabulka 3.2.2 : *Stručná charakteristika použitého maziva*

MULTIDRAW DRYLUBE E1		
vzhled	Za běžné teploty vosk	
barva	hnědá	
Hustota /15°C	870	kg/m ³
Viskozita /100°C	11	mm ² /s
Bod vzplanutí	230	°C

Vzhledem k typu maziva bylo nutné provést jeho zahřátí na teplotu, kdy se vosk změní na kapalinu a pro zajištění delší doby potřebné pro nanesení a současně rovnoměrného nanesení maziva byly plechy ohřáty v sušárně.

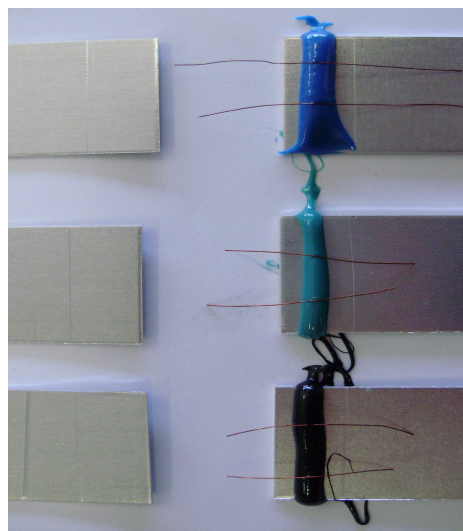
3.3. Vlastní lepení

3.3.1. Nanesení lepidla

Na připravené vzorky s naneseným množstvím maziva bylo následně vytlačovací pistolí nanášeno lepidlo, lepidlo se nanáší pouze na jednu část vzorku v podobě „housenky“. Po nanesení lepidla byly na vzorky vloženy distanční drátky o průměru 0,2mm (tento průměr platí pro konstrukční lepidla) dle obr. 3.3.1. Distanční drátky se na vzorky vkládají z důvodu zajištění přesného vymezení distance mezi adherendy, aby při zafixování vzorků byla zaručena po celé délce spoje stejná vrstva lepidla. Na závěr jsou obě dvě části vzorku přitlačeny k sobě a zafixovány svorkami obr. 3.3.2, které zajišťují, aby se obě části vzorku vůči sobě nepohybovaly.

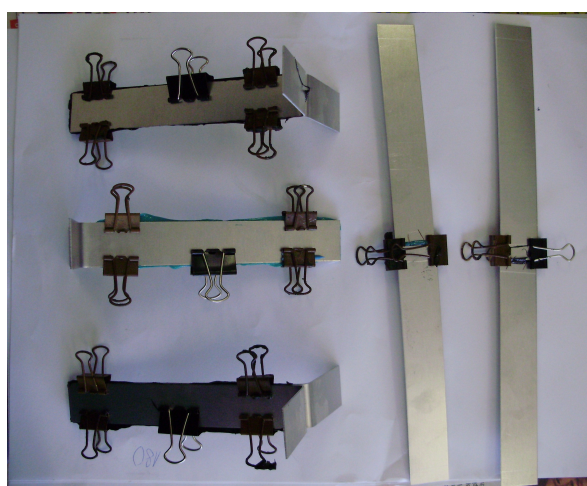


ISO 11 339



VW PV 12.35

Obr. 3.3.1. Umístění distančních drátků na vzorky



ISO 11 339

VW PV 12.35

Obr. 3.3.2. Zafixování slepů svorkami

● Použitá lepidla

Pro lepení hliníkových materiálů byla po konzultaci s výrobcem automobilů a na základě spolupráce s katedrou strojírenské technologie, která zadávala řešení této bakalářské práce, vybrána tři lepidla, která jsou vhodná pro lepení hliníkových slitin tj. plechů používaných při stavbě karosérie.

BETAMATE 1040

Betamate 1040 je jednosložkové epoxidové lepidlo, které se nanáší v rozmezí teplot 40 až 65°C. Je teplem vytvrditelné, s dobrou odolností proti nárazům a s dobrými těsnícími vlastnostmi, kompatibilní s dalšími mechanickými a tepelnými technikami spojování s vysokou pevností. Další specifikace lepidla viz. materiálový list v příloze [3]

Tabulka 3.2.3 : *Stručná charakteristika použitého lepidla*

BETAMATE 1040		
základ	epoxidová pryskyřice	
barva	světle zelená	
hustota (při 23°C)	1230	kg/m ³
obsah pevné látky	>99	%
pevnost v tahu	50	MPa
forma	pasta	

BETAMATE 1496F

Betamate 1496F je jednosložkové epoxidové lepidlo, nanášené v rozmezí teplot 40 až 65°C. Lepidlo je teplem vytvrditelné, používá se ke zvýšení provozní odolnosti, nárazové odolnosti a tuhosti vozidla. Vykazuje vysokou stálost lepidla a lepeného spoje s dobrými těsnícími vlastnostmi, je kompatibilní s dalšími mechanickými a tepelnými technikami spojování. Další specifikace lepidla viz. materiálový list v příloze [4]

Tabulka 3.2.4 : *Stručná charakteristika použitého lepidla*

BETAMATE 1496F		
základ	epoxidová pryskyřice	
barva	modrá	
hustota (při 23°C)	1190	kg/m ³
obsah pevné látky	>99	%
pevnost v tahu	31	MPa
forma	pasta	

SIKA POWER 492G – LVP

Sika Power 492G – LVP je jednosložkové epoxidové lepidlo, nanášené v rozmezí teplot 50 až 60°C. Lepidlo je teplem vytvrditelné s vysokou pevností a dobrou

přilnavostí na povrchy s naneseným olejem, navíc chrání před korozí. Další specifikace lepidla viz. materiálový list v příloze [5]

Tabulka 3.2.5 : *Stručná charakteristika použitého lepidla*

SIKA POWER 492G		
základ	Epoxid – Hybrid	
barva	černá	
hustota (při 23°C)	1300	kg/m ³
obsah pevné látky	>99	%
pevnost v tahu	30	MPa
forma	pasta	

3.3.2. Vytvrzení lepidla

Z důvodu zaručení identických podmínek při vytvrzování lepidel, byly vzorky po slepení a zafixování narovnané na kovová plata a vytvrzována najednou, kde setrvaly po dobu temperace sušárny Venticell 222 (obr. 3.3.3). Po natemperování teploty v sušárně byla následně kovová plata se vzorky vložena na rošty do sušárny a po ustálení teploty v sušárně na 180°C se vzorky vytvrzovaly po dobu 20 minut. Po uplynutí vytvrzovací doby byly vzorky ze sušárny vyjmuty a nechány chladnout volně na vzduchu po dobu 24 hodin.

● použité zařízení

K vytvrzení slepených vzorků byla použita sušárna Venticell 222 viz. obr. 3.3.3, jedná se o zařízení s nucenou cirkulací vzduchu a rozsahem teplot 10 až 250°C



Obr. 3.3.3. Sušárna Venticell 222

3.4. Destruktivní zkoušky vzorků

3.4.1. Hodnocení pevnosti spoje

Pro hodnocení pevnosti spoje byly všechny vzorky nejprve odsvorkovány a zbaveny přetoků lepidla (obr. 3.4.1)

Testování pevnosti lepených spojů viz. kapitola 2.1.5.1 bylo provedeno na trhacím zařízení TIRAtest 2300 (obr. 3.4.2) s tenzometrickou hlavou s rozsahem 10kN, podle příslušných norem ISO 11 339 a PV 12.35.

Čelisti byly nastaveny do polohy pro upnutí vzorků a tato poloha byla nastavena jako nulová.



Obr. 3.4.1. Odsvorkovaný a přetoků lepidla zbavený vzorek.

● Zkouška pevnosti v odlupování ISO 11 339

Po upnutí vzorku do čelistí za ohnuté konce vzorku je zkouška spuštěna a vzorek je namáhán odlupující silou až do úplného porušení spoje. Rychlost destrukce spoje u zkoušky pevnosti v odlupování je 100mm/min. Výsledkem zkoušky jsou hodnoty pevností v odlupování a maximální síly, jak je uvedeno ve zkouškových protokolech viz. příloha číslo [6]. V protokolech je dále zaznamenán aritmetický průměr pevností v odlupování a maximální síly a jejich směrodatné odchytky.

● Zkouška smykové pevnosti VW PV 12.35

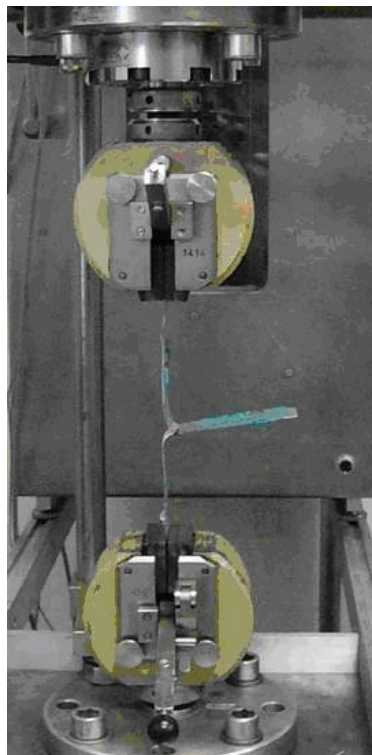
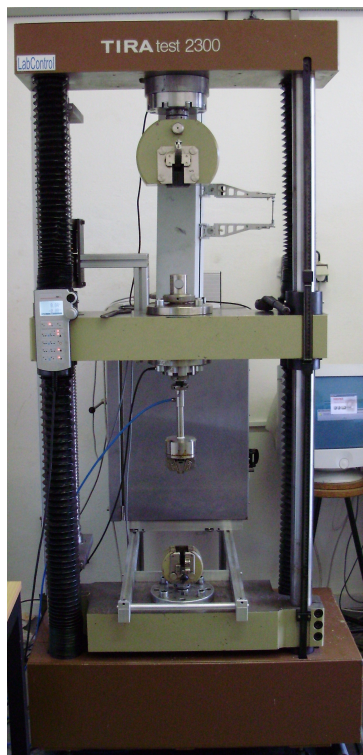
Po upnutí vzorku do čelistí je zkouška spuštěna a vzorek je namáhán v tahu až do porušení spoje. Rychlost destrukce spoje u zkoušky smykové pevnosti je 50mm/min. Výsledkem zkoušky jsou smykové pevnosti v tahu jednotlivých vzorků, jak je uvedeno ve zkouškových protokolech viz. příloha číslo [7]. V protokolech je dále zaznamenán aritmetický průměr smykových pevností se směrodatnou odchylkou.

● Použité zařízení

Trhací zařízení TIRAtest 2300

TIRAtest 2300 je universální trhací zařízení, používané pro zjišťování

mechanických vlastností technických materiálů v tahu, tlaku a ohybu. Zařízení na obrázku 3.3.2. je vybaveno tenzometrickou siloměrnou hlavou s rozsahem 10kN. Pro změnu rozsahu přístroje, je nutné použít jinou tenzometrickou siloměrnou hlavu. Zařízení je vybaveno softwarem LabNet, který umožňuje vyhodnocení zkoušek a zpracování výsledků do zkouškových protokolů s předem zadanými parametry zkoušky.



Obr. 3.3.2. Universální trhací zařízení TIRAtest 2300

Smyková pevnost při namáhání tahem se u každého jednotlivého vzorku počítá ze vztahu (2.1), průměrnou hodnotu pak získáme ze vzorce (3.1).

$$\bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (3.1)$$

kde:

τ průměrná hodnota smykové pevnosti z n vzorů [MPa]

n..... počet vzorků [-]

τ smyková pevnost jednotlivých vzorků [MPa]

Na protokolech je pak uvedena i směrodatná odchylka pro vypočítaný průměr, která se vypočítá ze vztahu (3.2). Směrodatná odchylka vypovídá o tom, jak moc se liší naměřené hodnoty jednotlivých vzorků od jejich vypočítané průměrné hodnoty. Z hlediska statistiky je směrodatná odchylka nejužívanější míra variability.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

kde:

s..... směrodatná odchylka [MPa]

τ průměrná hodnota smykové pevnosti z n vzorů [MPa]

n..... počet vzorků [-]

τ smyková pevnost jednotlivých vzorků [MPa]

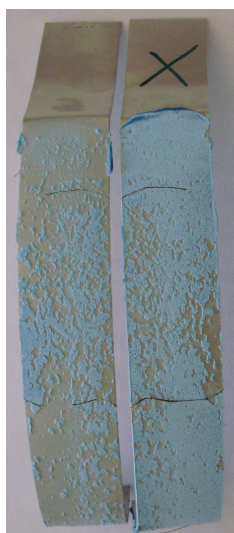
Střední pevnost v odlupu se u každého jednotlivého vzorku počítá ze vzorce (2.1), a stejně jako u zkoušky smykové pevnosti, je i u zkoušky pevnosti v odlupu počítána průměrná hodnota pevnosti a směrodatná odchylka, dle vztahů (3.1) a (3.2).

3.4.2. Hodnocení porušení spoje

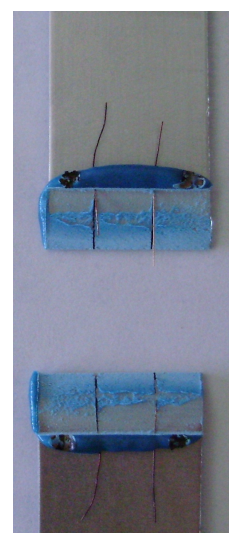
Jsou-li všechny vzorky vyhodnoceny z hlediska pevností, je nutné ještě provést vizuální subjektivní hodnocení porušení spojů, které se provádí podle normy ČSN ISO 10 365 viz. kapitola 2.1.5.2.

Ve zkušebních protokolech jsou uváděny jen ty parametry, které je možné nastavit před zkouškou a po zkoušce jsou automaticky zaznamenány. Typy porušení spojů jsou do protokolu z důvodu vizuálního hodnocení zaznamenávány dodatečně.

Typy porušení lepených spojů se udávají v procentech. Na obr. 3.4.1 je ukázka oddělení vzorků a typů porušení spojů.



ISO 11 339



VW PV 12.35

Obr. 3.4.1. Ukázka porušení spojů

4. Dílčí výsledky

V tabulkách 4.1. a 4.2. jsou na základě výsledků a vyhodnocení destruktivních zkoušek pevnosti v odlupování a smykové pevnosti v tahu, uvedeny získané pevnostní kvality jednotlivých souborů vzorků. V příslušné tabulce pro jednotlivý typ zkoušky pevnosti lepeného spoje je vždy uveden název lepidla, označení je-li vzorek s mazivem, průměrná hodnota pevnosti, směrodatná odchylka, typ porušení lepeného spoje v procentech a u zkoušky v odlupování je v tabulce ještě maximální dosažená síla a příslušná směrodatná odchylka.

4.1. Výsledky zkoušky v odlupování

Tabulka 4.1. Výsledky souborů vzorků pro zkoušku v odlupování

druh lepidla	mazivo	F_{sab} [N/mm]	s [N/mm]	F_{max} [N]	s [N]	Typ porušení		
						CF [%]	SCF [%]	AF [%]
Betamate 1040	E1	5,33	0,29	289,23	57,49	70	30	-
Betamate 1040		6,19	0,19	448,97	43,18	100	-	-
Betamate 1496F	E1	4,27	0,99	413,71	124,31	20	70	10
Betamate 1496F		10,22	0,9	682,41	86,52	80	20	-
Sika Power 492G	E1	5,73	0,18	375,54	39,35	50	50	-
Sika Power 492G		6,12	0,4	407,15	91,46	50	50	-

F_{sab} střední pevnost v odlupování [N/mm]

s směrodatná odchylka pro střední pevnost v odlupování [N/mm]

F_{max} maximální dosažená síla [N]

s směrodatná odchylka pro maximální sílu [N]

CF.....kohezní porušení [%]

SCF.....smíšená porucha spoje [%]

AF.....adhezní porušení [%]

4.2. Výsledky zkoušky ve smyku

Tabulka 4.1. Výsledky souborů vzorků pro zkoušku ve smyku

druh lepidla	mazivo	τ [MPa]	s [MPa]	Typ porušení		
				CF [%]	SCF [%]	AF [%]
Betamate 1040	E1	20,7	0,91	50	50	-
Betamate 1040		22,01	0,58	50	50	-
Betamate 1496F	E1	22,25	0,53	40	50	10
Betamate 1496F		24,08	0,71	45	50	5
Sika Power 492G	E1	20,21	0,53	50	50	-
Sika Power 492G		21,76	0,86	50	50	-

τsmyková pevnost při namáhání tahem [MPa]

ssměrodatná odchylka pro maximální sílu [MPa]

CF.....kohezní porušení [%]

SCF.....smíšená porucha spoje [%]

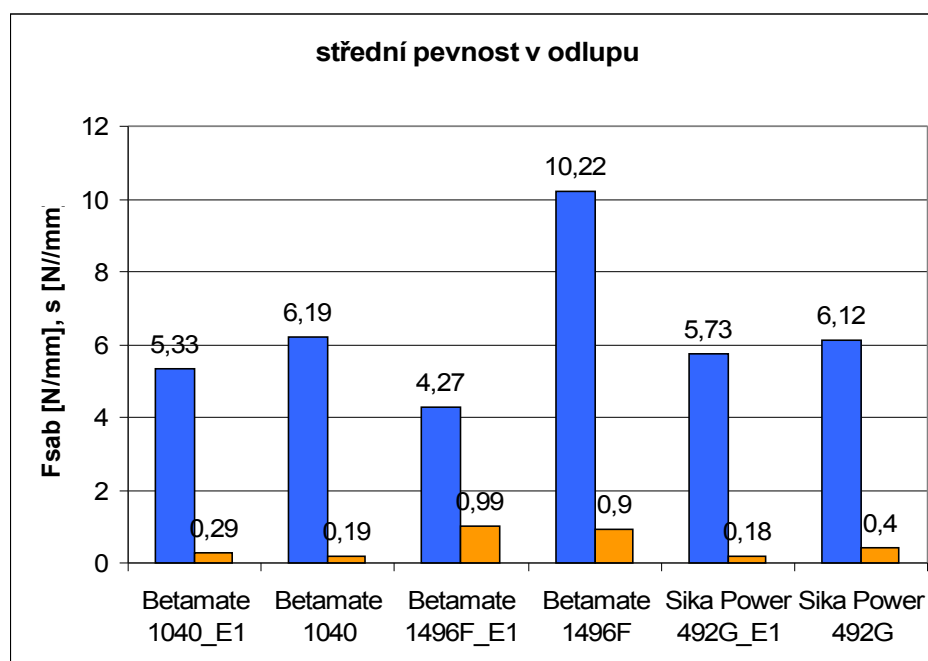
AF.....adhezní porušení [%]

5. Vyhodnocení výsledků

Z důvodu názornější prezentace získaných a vypočtených veličin jsou výsledky ze zkoušek zobrazeny také graficky viz grafy na obr. 5.1.1. a 5.2.1. Použití grafů tak výrazněji rozliší výsledky testování pro sady vzorků s mazivem a bez maziva u jednotlivých lepidel.

Pro jednotlivá lepidla se budou hodnotit výsledky naměřených hodnot získaných při zkoušce smykové pevnosti, pevnosti v odlupování a vliv maziva na lepený spoj.

5.1. Pro zkoušku v odlupování



Obr. 5.1.1. Graf průměrných hodnot pevností v odlupování jednotlivých lepidel

Z grafu (obr. 5.1.1) je patrné, že největší rozdíly v hodnotách pevností jsou u lepidla Betamate 1496F, kde použití maziva dost výrazně snížilo pevnost spoje, která poklesla o 58,2%. Zatím co u lepidla Sika Power 492G-LVP klesla průměrná hodnota pevnosti jen o 6,4%.

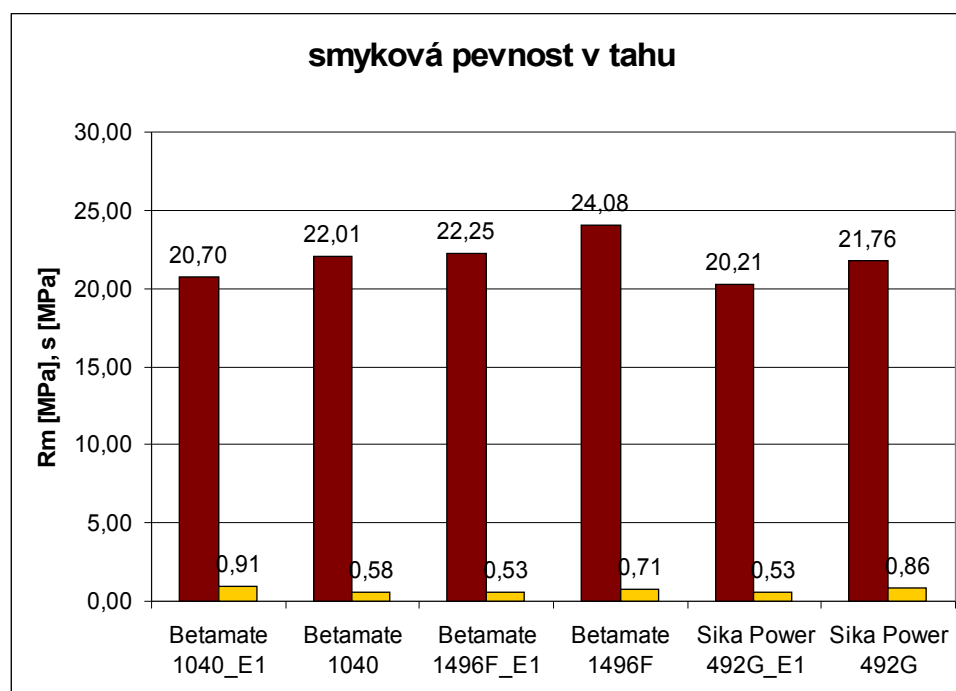
Jelikož použítá lepidla jsou ze stejné skupiny (epoxidová lepidla), lze provést porovnání i mezi jednotlivými lepidly. Nejvyšší pevnosti, bez maziva, bylo dosaženo u lepidla Betamate 1496F, kde je průměrná hodnota pevnosti oproti ostatním dvěma lepidlům o cca 39% vyšší. U tohoto lepidla ale byla i největší směrodatná odchylka, to znamená, že rozdíly naměřených hodnot u jednotlivých vzorků byly větší, než u jiných lepidel.

Ze získaných výsledků je patrné, že z hlediska pevnosti je nejlepší variantou lepidlo Betamate 1496F, je ale nutné zajistit dobré očištění a odmaštění povrchu adherendu.

Z výsledků grafů je patrné, že mazivo v závislosti na dosažené pevnosti má na pevnost lepeného spoje negativní vliv, což je pro automobilový průmysl nevýhodné.

5.2. Pro zkoušku ve smykové pevnosti

Obr. 5.2.1. Graf průměrných hodnot smykových pevností jednotlivých lepidel



Z grafu (obr. 5.2.1) je patrné, že nejvyšší smykové pevnosti v tahu bylo opět dosaženo u lepidla Betamate 1496F a to jak u vzorků s mazivem, tak bez maziva.

Lepidlo Betamate 1040 v porovnání s lepidlem Sika Power 492G dosahuje jak u vzorků s mazivem tak u vzorků bez maziva, vyšší pevnosti řádově o desetiny. Rozdíl pevností mezi lepidly u vzorků s mazivem je 0,49 MPa a u vzorků bez maziva je 0,25 MPa.

Z hlediska pevnosti se jako nejlepší jeví Betamate 1496F, které má nejvyšší hodnotu pevnosti bez maziva i s mazivem.

Porovnáním hodnot pevností ve smyku se vliv maziva jeví, stejně jako u zkoušky v odlupování, negativně.

6. Závěr

V současné době jsou ekologické aspekty jedním z důvodů použití nových materiálů. Stále zpřísnující se normy na ochranu životního prostředí nutí výrobce automobilů k výrobě vozidel, produkujících nižší obsah škodlivin exhalovaných z pohonných jednotek automobilů do ovzduší. K dosažení daných norem je snaha o snížení hmotnosti karoserie a tím i související snížení spotřeby paliva. Karoserie je jako nejtěžší část vozidla vystavena nátlaku na snížení její hmotnosti, snaha po snížení hmotnosti karoserie vede výrobce automobilů k nahrazování běžně používaných materiálů - standardní nízkouhlíkové oceli, materiály novými např. hliníkovými slitinami.

Jelikož spojování dílů karosérie automobilu už není pouze klasickými metodami (svařování, pájení, šrouby, nýty), ale stále větší oblast v technologii spojování zaujímá lepení, cílem bakalářské práce bylo posoudit z hlediska kvality pevnosti lepených spojů hliníkových slitin pro zkoušky smykové pevnosti dle VW PV 12.35 a zkoušky v odlupovací pevnosti dle ISO 11339. K testování byl použit adherend ze slitin hliníku s označením AW 6016 a k účelu lepení hliníkových materiálů vybrána tři lepidla- Betamate 1040, Betamate 1496F a Sika Power 492G-LVP, která se v automobilovém průmyslu používají na lepení hliníkových dílů při výrobě automobilů. Vzhledem ke skutečnosti, že lepení pro účely automobilového průmyslu vyžaduje zcela specifickou metodiku a to lepení na plech opatřený množstvím maziva, pro experimentální měření bakalářské práce bylo použito mazivo MULTIDRAW DRYLUBE E1, které je vhodné na lepení plechů ze slitin hliníků. Mazivo patří do skupiny Hotmeltů a aplikace nanášení je komplikovanější, než u běžných maziv, musí se nanášet při jeho zvýšené teplotě.

Z naměřených a prezentovaných výsledků v jednotlivých grafech (obr. 5.1.1. a obr. 5.2.1.) je vidět, že u lepidla Betamate 1496F, bylo dosaženo nejvyšší pevnosti jak u zkoušky v odlupu, tak u zkoušky ve smyku, pro vzorky bez maziva. U vzorků s mazivem pro toto lepidlo je u zkoušky v odlupování pevnost naopak nejnižší a u zkoušky ve smyku je hodnota pevnosti stále vyšší (22,25 MPa), než u ostatních lepidel. Z těchto porovnání je vidět, že lepidlo Betamate 1496F je nejméně vhodné pro namáhání odlupováním pro variantu s mazivem. Nejlépe se pak hodí pro namáhání smykem pro obě varianty, s mazivem i bez.

U lepidel Betamate 1040 byly u zkoušky v odlupování dosaženy téměř stejné hodnoty pevnosti u vzorků s mazivem a bez maziva, rozdíl středních hodnot pevností je 0,86 N/mm. U zkoušky ve smyku dosahuje jak u vzorků s mazivem tak

u vzorků bez maziva, téměř shodných hodnot. Rozdíl středních hodnot pevností je 1,31 MPa

U lepidla Sika Power 492G-LVP podobně jako u lepidla Betamate 1040 byly rozdíly pevnosti v odlupu mezi vzorky s mazivem a bez v řádů desetin (0,39 N/mm). Rozdíl průměrné hodnoty pevností u zkoušky ve smyku je 1,55 MPa.

Lepidlo Betamate 1040 v porovnání s lepidlem Sika Power 492G dosahuje jak u vzorků s mazivem tak u vzorků bez maziva, vyšší pevnosti ve smyku řádově o desetiny. Rozdíl pevností mezi lepidly u vzorků s mazivem je 0,49 MPa a u vzorků bez maziva je 0,25 MPa.

Porovnáním hodnot pevností v odlupu i ve smyku je vidět, že mazivo MULTIDRAW DRYLUBE E1 ani v jednom případě nezvýšilo pevnost spoje, naopak u lepidla Betamate 1496F mělo velmi negativní vliv, protože pevnost v odlupu klesla o 58%.

Vzhledem k té skutečnosti, že lepení pro automobilový průmysl vychází z technologického postupu lepení na plechy namazané určitým množstvím maziva, získané výsledky vyplývající z experimentálního měření této bakalářské práce jsou bohužel nepříznivé, ale snad přínosné pro další vývoj v oblasti lepení karosářských plechů ze slitin hliníku nejen pro výrobce automobilů, ale současně i pro výrobce lepidel a maziv.

Přínosem této práce jsou výsledky, které byly získány na základě testování kombinace lepidel, adherendu a maziva specializující se na lepení hliníkových slitin, neboť je to prvotní řešená práce v této oblasti na katedře strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci. Získané výsledky ze zkoušek tudíž není možno porovnat, ale vzniká tak nová databanka výsledků testů pro hodnocení kvality lepených spojů.

Seznam Literatury:

- [1] PETERKA J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha: Nakladatelství SNTL, 1980. 792s.
- [2] GREGOR M.: Lepidla – Tmely, lepení. Dostupný z [www:](http://www.oblibene.cz/lepidla/4852/lepeni/)
<http://www.oblibene.cz/lepidla/4852/lepeni/>
- [3] MÜLLER M.: Lepení hliníku a duralu kyanoakryláty. [cit. 12/2004]. Dostupný z [www:](http://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-hliniku-a-duralu-kyanoakrylaty) <http://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-hliniku-a-duralu-kyanoakrylaty>
- [4] KOVAČIČ L.: Lepenie kovov a plastov. Bratislava: Nakladatelství ALFA, 1984. 398s.
- [5] Technologie lepení v automobilovém průmyslu.: Dostupný z [www:](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
- [6] MÜLLER M., BROŽEK M.: Technologie lepení – mechanická úprava lepeného povrchu. [cit. 2/2004]. Dostupný z [www:](http://www.tmvydavatelstvi.cz/svarovani/0402/str_56.pdf)
http://www.tmvydavatelstvi.cz/svarovani/0402/str_56.pdf
- [7] ISO 11339 - T-zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů.
- [8] PV 12.35 – Norma pro automobilový průmysl – Prüfung der Zugscherfestigkeit
- [9] MIREK MIKESKA.: Automobilový průmysl vs. Finanční krize. [cit. 16/10/2008]. Dostupný z [www:](http://www.investujeme.cz/clanky/automobilovy-prumysl-vs.-financni-krize/) <http://www.investujeme.cz/clanky/automobilovy-prumysl-vs.-financni-krize/>
- [10] MICHNA, LUKÁČ, OČENÁŠEK, KOŘENÝ, DRÁPALA, SCHNEIDER, MIŠKUFOVÁ a kol.: Encyklopedie hliníku. Prešov: Nakladatelství Adin, 2005. 700s.
- [11] Automobilka Audi vyrobila už čtvrt milionu vozů s hliníkovými karoseriemi [cit. 17/7/2003]. Dostupný z [www:](http://www.periskop.cz/cz/clanky/automobilka-audi-vyrobila-uz-ctvrt-milionu-vozu-s-hlinikovymi-karoseriemi)
<http://www.periskop.cz/cz/clanky/automobilka-audi-vyrobila-uz-ctvrt-milionu-vozu-s-hlinikovymi-karoseriemi>
- [12] BLAŠKOVIČ, P.-BALLA, J.-DZIMKO, M. : Tribológia, ALFA Bratislava, 1990
- [13] ŠTĚPINA, V.-VESELÝ, V. : Maziva v tribologii, VEDA Bratislava, 1985
- [14] ŠAFR, E. : Technika mazání, SNTL Praha 1970

Seznam příloh

Příloha číslo 1:	Materiálový list odmašťovacího přípravku D SOL_100
Příloha číslo 2:	Materiálový list maziva MULTIDRAW DRYLUBE E1
Příloha číslo 3:	Materiálový list lepidla Betamate 1040
Příloha číslo 4:	Materiálový list lepidla Betamate 1496F
Příloha číslo 5:	Materiálový list lepidla Sika Power 492G-LVP
Příloha číslo 6:	Zkouškové protokoly pevnosti v odlupu
Příloha číslo 7:	Zkouškové protokoly pevnosti ve smyku

D –SOL 100

odmaštění se zrychleným zaschnutím, pro mytí elektrických dílů a zařízení, dílů v opravnách, lakovnách a galvanovnách

Technické údaje:

Popis:

kapalina D-sol 100 je směsí syntetických isoparafinických uhlovodíků bez obsahu halogenů

Použití:

k bezoplachovému odmašťování a čištění dílů za studena v ultrazvukových vanách, postřikových, máčecích nebo ručních strojích, jako náhrada lakových benzínů, tri- a perchloreтанu, ideální pro opravný, údržbový, průmyslové pivozy, lakovny, galvanovny, elektrotechniku

Vlastnosti:

- vynikající čistící schopnost
- účinnost na většinu olejů, tuků, vazelín a vosků
- vyhovující odpařivost
- bez zápachu
- nepoškozuje čištěný povrch
- nezpůsobuje korozi materiálů
- ideální pro ocel, hliník, zinek, měď, titan
- vysoká sytnost
- zasychá bez map
- nízký obsah aromátů (do 0,002 % hm)
- dermatologicky bez problémů
- minimální zatížení ovzduší
- použitelný s PEHD, PA66, ABS, PET, PVC, PTFE, PVF, PVDF, NBR
- nepoužitelný s POLYSTYREN, SBR, EPDM

Parametry:

bod vzplanutí: 58 °C

hustota při 15°C: 761 kg/m³

viskozita při 25°C: 1,09 mPa.S

odpařivost (Ether = 1): 85

třída hořlavosti: III.

Balení:

50 l, 160 l, 200 l

Příloha č. 2

MULTIDRAW DRYLUBE E 1

Beschreibung:

- auf Mineralölbasis
- enthält höherschmelzende Kohlenwasserstoffe
- wasserfrei
- frei von Lösemitteln
- alterungsbeständig
- besitzt ausgezeichnete Korrosionsschutzeigenschaften

Typische Kennzahlen:

Aussehen		fest/braun	
Dichte/15°C	kg/m ³	870	DIN 51 757
Viskosität/100°C	mm ² /s	11	DIN 51 562
Flammpunkt	°C	230	DIN ISO 2592

Anwendung:

MULTIDRAW DRYLUBE E 1 ist ein Coilbeschichtungsmittel für alle Metalle (Stahl, verzinkter Stahl, vorphosphatierter Stahl, Aluminium und Edelstahl). Das Produkt hinterlässt nach dem Aufbringen eine grifffeste Schicht auf der Metalloberfläche. Der „halbtrockene“ (semi-dry) Film ermöglicht durch seine gute Flexibilität und Gleiteigenschaften hohe Umformgrade.

Applikation:

MULTIDRAW DRYLUBE E 1 wird vorzugsweise im Walzwerk im flüssigen Zustand aufgetragen. Bei der Applikation muss **MULTIDRAW DRYLUBE E 1** auf 70 °C erwärmt werden. In Filtersystemen sollte eine Temperatur von 60 °C nicht unterschritten werden. Der Erstarrungspunkt liegt bei ca. 40 °C.

Bei einem eventuellen längeren Verbleib des Schmierstoffs im Vorratstank im Stand-by-Betrieb empfehlen wir eine Temperatur von ≤ 60 °C.

Bei beheizten Tanks sollte **MULTIDRAW DRYLUBE E 1** kontinuierlich umgewälzt werden, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu gewährleisten.

Diese Angaben entsprechen unseren derzeitigen Kenntnissen. Sie befreien den Verarbeiter nicht von eigenen Prüfungen. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder eine Eignung für einen konkreten Einsatzzweck, kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Evtl. bestehende gesetzliche Bestimmungen und Verordnungen, die die Handhabung und den Einsatz der Produkte betreffen, sind vom Empfänger unserer Produkte selbst zu beachten.



ZG Division: Industrieschmierstoffe

Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG
Schlossstraße 20 · 73054 Eisligen/Fils, Germany
Telefon +49 7161 802-0 · Telefax +49 7161 802-290
www.zeller-gmelin.de · info@zeller-gmelin.de



Technische Information

Seite -2-

Entfettung:

Die Entfettung der mit **MULTIDRAW DRYLUBE E 1** beaufschlagten Teile ist problemlos mit wässrig-alkalischen Reinigern möglich.

Bei Temperaturen oberhalb des Erstarrungspunktes werden keine Beeinträchtigungen der zur Aufarbeitung der Entfettungsbäder eingesetzten Ultrafiltrationsanlagen beobachtet.

Lagerung:

Das Produkt ist mindestens 36 Monate haltbar.

Nutzen Sie unseren technischen Service. Unsere Außendienstmitarbeiter stehen Ihnen bei anwendungstechnischen Fragen gerne zur Verfügung.

02/08-22200-14

Diese Angaben entsprechen unseren derzeitigen Kenntnissen. Sie befreien den Verarbeiter nicht von eigenen Prüfungen. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder eine Eignung für einen konkreten Einsatzzweck, kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Evtl. bestehende gesetzliche Bestimmungen und Verordnungen, die die Handhabung und den Einsatz der Produkte betreffen, sind vom Empfänger unserer Produkte selbst zu beachten.



ZG Division: Industrieschmierstoffe

Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG
Schlossstraße 20 · 73054 Eisligen/Fils, Germany
Telefon +49 7161 802-0 · Telefax +49 7161 802-290
www.zeller-gmelin.de · info@zeller-gmelin.de



**Dow Automotive****Technical Datasheet**

BETAMATE 1040

Crashresistant Structural Adhesive

Description / Application:

BETAMATE 1040 is a one component, epoxy based adhesive especially developed for the body shop. The adhesive is used in the car to increase the operation durability, the crash performance and the body stiffness.

Properties:

- Excellent adhesion to automotive steels, including coated steels and pretreated aluminium with good tolerance to oil and drylubes.
- Helps to increase the stiffness and the crash stability of the entire car body.
- High durability of the adhesive and the adhesive bond.
- Due to its sealing capability the metal and weld points are protected against corrosion.
- Compatible with other mechanical and thermal joining techniques.
- Compatible with the electrocoat process and wash-off resistant.
- Precurable and pregelable.

Application:

The product is at temperatures about 40 up to 65°C applicable as a bead. It can be applied with the following parameters:

application speed	200 - 300 mm/s
temperatures:	
follower plate	35 - 40°C
follower plate - doser	Per heating zone approx. 5°C heat increase. Maximum temperature at doser 55°C.
nozzle	55 - 65°C

For an optimum tack of the adhesive, the parts to bond should be stored at 15°C or higher. In case of an application break longer than 30 minutes the heating of the application equipment should be switched of.

All Dow Automotive products are primarily developed in co-operation with the automobile manufacturers, according to their needs and their specifications; they are approved for the specific applications as defined by the customer.

The use of the product other than approved application have to be released in written form by the Technical Service of Dow Automotive.

Technical Data:

Basis	epoxy resin
Colour	light blue
Density (DIN 52451) (23°C)	1.23 g/ml
Solid Content	> 99%
Viscosity/Yield Point (45°C, Bohlin, Casson)	140 Pas / 170 Pa

Příloha č. 3

Flash Point (DIN 51758)	> 150°C
Curing Condition	> 140°C / 30 minutes
Standard Curing	180°C / 30 minutes
Tensile Strength (DIN EN ISO 527-1)	50 MPa
Elongation at Break (DIN EN ISO 527-1)	approx. 6 %
E-Modulus (DIN EN ISO 527-1)	2900 MPa
Lap Shear Strength (DIN EN 1465) (CRS 1403, 1.5 mm)	22 MPa
T-Peel Strength (DIN 53282) (CRS 1403, 0.5 mm)	4.6 N/mm
Impact Peel Strength (ISO 11343) (CRS 1403, 1.0 mm, 23°C, 2m/s)	20 N/mm
Bonding Surface Preparation	The material has been designed to tolerate up to 5 g/m ² of surface oil.
Application Tool	Cartridges: hand-operated or pneumatic heated gun with mechanical piston. Drums, pails: heated pumping system.
Cleaning	Uncured material can be removed with BETACLEAN 3510. Attention: The contact with bonded areas should be avoided.
Containers	25 kg, 45 kg and 200 kg (re-usable pails with PE-liner). Cartridges: 0,36 kg
Shelf life	Storable at temperatures below 30°C for 3 month.

The given data are standard values.

Health and Safety

- Bulk Exothermic Reaction

The material curing reaction is exothermic. If the material is held in bulk the reaction is accompanied by a rapid build-up of exothermic heat. To avoid the risk of this bulk exothermy, containers of the material should in no circumstances be heated by e.g. hot plates or simple drum heaters. If heating a bulk quantity of the material is considered necessary, advice should be sought.

- Caution

The adhesive resins are generally quite harmless to handle provided that certain precautions normally taken when handling chemicals are observed. The uncured materials must not, for instance, be allowed to come into contact with foodstuffs or food utensils, and measures should also be taken to prevent the uncured materials, from coming into contact with skin, since people with particularly sensitive skins may be affected. The wearing of impervious rubber or plastic gloves will normally be necessary; likewise the use of eye protection. The skin should be thoroughly cleaned at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended. For further and more detailed precaution measures see the Health and Safety Data Sheet.

Dow Automotive Quality Management

Quality is our highest priority. Dow Automotive works with a highly modern Quality Management System which meets all international requirements of QS 9000, VDA-6 and ISO 9001.

The above information implies no liability as to the usage of our products. Since the applications, utilisation and processing of our products are beyond our control, the information given is not intended to replace your own trials with the products to establish their suitability for your particular application. Our liability is limited to the value of the products supplied by us and used by you. The information on this data sheet corresponds to the latest findings and supersedes all previous versions.

Dow Automotive AG
CH-8807 Freienbach
Tel. +41(0)55416 81 11
Fax +41(0)55416 82 20

Dow Automotive (Deutschland) GmbH
D-35683 Dillenburg
Tel. +49(0)2771 8 71 40
Fax +49(0)2771 87 14 70

Dow Automotive (Italia) S.r.l
I-20010 Bereglio (MI)
Tel. +39(0)2 90 36 11 66
Fax +39(0)2 90 27 66 98

Dow Automotive (España) S.A.
E-28816 Camarma de Esteruelas (Madrid)
Tel. +34 (91) 886 61 43
Fax +34 (91) 885 75 60

Dow Automotive (France) S.A.
F-60130 Saint-Just-en-chaussee
Tel. +33(0) 3 44 77 61 00
Fax. +33(0) 3 44 77 61 61

Dow Automotive (UK) Ltd.
GB-Nuneaton-Warwickshire CV10 7QT
Tel. +44 (0) 24 7635 72 00
Fax. +44 (0) 24 7635 72 57



Technisches Datenblatt

BETAMATE 1496F

Crashstabiler Strukturklebstoff

Anwendung / Beschreibung:

BETAMATE 1496F ist ein einkomponentiger Epoxidklebstoff, welcher speziell für den Einsatz im Rohbau entwickelt wurde. Der Klebstoff wird angewendet, um die Betriebsfestigkeit, die Crashstabilität und die Steifigkeit des Fahrzeuges zu erhöhen.

Eigenschaften:

- Ausgezeichnete Haftung auf den im Automobilbau verwendeten Stahlsorten, einschliesslich beschichteten Stählen und vorbehandelten Aluminium. Gute Verträglichkeit von Ölen und Trockenschmierstoffen.
- Hilft die Steifigkeit und Crashstabilität des Fahrzeuges zu erhöhen.
- Hohe Beständigkeit des Klebstoffes und der Verklebung.
- Eignet sich zur Abdichtung und schützt damit sowohl das Metall, als auch Schweisspunkte vor Korrosion.
- Kompatibel mit anderen mechanischen und thermischen Fügeverfahren.
- Kompatibel mit dem KTL - Prozess und auswaschbeständig.
- Vorhär- und vorgellierbar
- 2 - 4 Wochen Offenzeit im gefügten Zustand.

Applikation:

Das Produkt ist zwischen ca. 40 und 65°C als Raupe applizierbar. Es kann mit folgenden Parametern appliziert werden:

Auftragsgeschwindigkeit	200 - 300 mm/s
Temperaturen:	
Folgeplatte	35 - 40°C
Folgeplatte - Dosierer	Pro Heizzone ca. 5°C Temperaturerhöhung. Im Dosierer maximal 55°C.
Düse	55 - 65°C

Um eine optimale Benetzung des Bauteiles mit dem Klebstoff zu erzielen, sollten die Bauteile bei mindestens 15°C gelagert werden. Bei einer Unterbrechung der Applikation von über 30 Minuten, sollte die Heizung abgestellt werden.

Alle Dow Automotive Produkte werden in erster Linie mit den Automobil-Herstellern für deren Bedürfnisse und gemäss deren Spezifikation entwickelt und von den Kunden für bestimmte Anwendungen freigegeben.

Der Einsatz für andere als die freigegebenen Anwendungen bedarf der vorherigen, schriftlichen Gutheissung durch den technischen Dienst der Dow Automotive.

Technische Daten:

Basis	Epoxidharz
Farbe	blau
Dichte (DIN 52451) (23°C)	1.19 g/ml
Anteil nichtflüchtiger Bestandteile	> 99 %
Viskosität / Fließgrenze (DIN 53019) (45°C, Bohlin, Modell Casson)	160 Pa.s / 130 Pa
Flammpunkt (DIN 51758)	nicht anwendbar
Aushärtebedingung	> 140 °C / 30 Minuten
Standardaushärtung	180 °C / 30 Minuten
Zugfestigkeit (DIN EN ISO 527-1)	31 MPa
Bruchdehnung (DIN EN ISO 527-1)	ca. 12 %
E-Modul (DIN EN ISO 527-1)	1300 MPa
Zugscherfestigkeit (DIN EN 1465) (CRS 14O3, 1.5 mm; 0.2 mm Klebschichtdicke)	31 MPa
Winkelschälfestigkeit (DIN 53282) (CRS 14O3, 0.5 mm; DX56 D Z100 MB, 0.78 mm; 0.2 mm Klebschichtdicke)	3.5 N/mm 12 N/mm
Schlagschälfestigkeit (ISO 11343) (CRS 14O3, 1 mm, 23°C, 2 m/s; 0.2 mm Klebschichtdicke)	41 N/mm
Vorbehandlung der Klebflächen	Das Material wurde für die Haftung auf öligem Blech mit bis zu 5 g/m ² Ölaufgabe entwickelt.
Verarbeitung	aus Kartuschen: Druckluftpistolen mit mechanischem Stempel, oder Handdruckpistolen. aus Hobbock und Fässern: Mit beheizbaren, handelsüblichen Hobbock- und Fasspumpen.
Reinigung	Vor dem Aushärten kann der unausgehärtete Klebstoff mit BETACLEAN 3510 entfernt werden. Achtung: Haftflächen dürfen nicht mit BETACLEAN 3510 gereinigt werden!
Gebinde	Hobbock und Fass: 20, 45, 100 und 200 kg (Mehrweggebinde mit PE-Sack) Kartuschen: 0.36 kg
Lagerstabilität	Das Material ist bei Temperaturen unter 30°C drei Monate verarbeitbar.

Die angegebenen Daten sind Standardwerte.

Sicherheitshinweise

Exotherme Reaktion

Das Material reagiert bei Aushärtung exotherm und es entsteht Reaktionswärme, die vor allem bei grösseren Gebinden nur sehr schlecht abgeführt wird. Um dies zu vermeiden, ist das Gebinde von Wärmequellen fernzuhalten.

Schutzmassnahmen

Die Handhabung von Epoxidharzklebstoffen ist ungefährlich, wenn die Vorschriften für den Umgang mit Chemikalien befolgt werden. Jedoch muss der Kontakt von unausgehärtetem Klebstoff mit Lebensmitteln und Lebensmittelbehältern unbedingt vermieden werden. Ebenso müssen Schutzmassnahmen getroffen werden, um den Hautkontakt zu verhindern. Undurchlässige Plastik- oder Gummihandschuhe und Augenschutz sind unerlässlich. Nach der Handhabung von Klebstoffen muss die Haut mit warmem Wasser und Seife gründlich gereinigt werden. Lösungsmittel sind zu vermeiden. Zur Trocknung der Haut sind Einwegpapiertücher empfehlenswert. Es ist für gute Belüftung zu sorgen. Weitere detaillierte Schutzmassnahmen entnehmen Sie den Sicherheitsdatenblättern.

Hinweis:

Qualität ist unser oberstes Gebot. Dow Automotive arbeitet mit einem modernen Qualitätsmanagement-System, das die internationalen Anforderungen nach ISO/TS 16949: 2002 erfüllt. Alle Standorte von Dow Automotive sind nach ISO 14001: 2004 zertifiziert.

Alle vorstehenden Angaben, technischen Daten und Empfehlungen beruhen auf Prüfungen, die unseres Erachtens zuverlässig sind. Die Entscheidung, ob Produkte von Dow Automotive für die jeweilige Anwendung geeignet sind, liegt in der alleinigen Verantwortung des Kunden. Eine Freistellung von Patenten von Dow oder Dritten wird weder direkt noch indirekt gewährt.

ES WERDEN HIERMIT KEINERLEI GARANTIE ABGEGEBEN. STILLSCHWEIGENDE GARANTIE ODER GEWÄHRLEISTUNGEN FÜR VERKAUFSFÄHIGKEIT ODER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK SIND AUSDRÜCKLICH AUSGESCHLOSSEN.

Dow Automotive

Dow Europe GmbH
Wolleraustrasse 15-17
CH-8807 Freienbach
Tel. +41 (0)55 416 81 11
Fax +41 (0)55 416 82 20

Dow Automotive (España)

Dow Chemical Iberica S.L.
Calle Camino del Corral, 7 (Pol. Ind. Alcamar)
E-28816 Camarma de Esteruelas
Tel. +34 (9)1 886 61 43
Fax +34 (9)1 885 75 60

Dow Automotive (USA)

The Dow Chemical Company
250 Harmon Road
Auburn Hills USA
MI - 48326
Tel. +001 248 391 63 00
Fax +001 248 391 64 17

Dow Automotive (Deutschland) GmbH

Am Kronberger Hang 4
D-65824 Schwalbach
Tel. +49 (0)619 65 66 0
Fax +49 (0)6196 566 444

Dow Automotive (UK)

Dow Chemical Company Limited
2 Heathrow Boulevard
284 Bath Road
West Drayton
Middlesex, UB7 0DQ
Tel. +44 (0)208 917 500
Fax +44 (0)208 917 5400

Dow Automotive (France)

Dow France S.A.S.
Z.I. Nord, route d'Amiens
F-60130 Saint-Just en Chaussée
Tel. +33 (0)3 44 77 61 00
Fax +33 (0)3 44 77 61 61

Dow Automotive (Italy)

Dow Italia s.r.l.
Via Patrolo 21
I-20151 Milan
Tel. +39 (0)2 48 221
Fax +39 (0)2 48 22 40 66



Produktdatenblatt
Ausgabe 02 / 2009

SikaPower®-492G

Der semi-crashfeste Bördelfalzklebstoff

Materialkennwerte

Chemische Basis	Epoxid-Hybrid
Farbe (CQP ¹ 001)	Schwarz
Gefahrenkennzeichnung	Xi, N
Nichtflüchtige Anteile (CQP 576)	> 99 %
Dichte vor / nach Aushärtung (CQP 576)	ca. 1.30 / 1.35 kg/l
Anwendungstemperatur	50 - 60°C (Düse)
Viskosität; 50°C, Oszillation 5 Hz, P/P 25 mm, 1 mm Spalt (CQP 584-1)	ca. 1000 Pa·s
Härtungszeit / Objekttemperatur	20 Min. / 175°C
Zugscherfestigkeit ² , bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 20 MPa
Zugscherfestigkeit ² , -30°C / +80°C, bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 22 / 15 MPa
Zugscherfestigkeit ² , 20' 160°C / 40' 200°C, bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 19 / 18 MPa
Zugscherfestigkeit ² , Blechstärke 1.5 mm, bei 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	ca. 30 MPa
Dynamischer Spaltwiderstand ⁴ (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)	ca. 30 N/mm
Winkelschälkraft ⁵ (CQP 580-2,-6 / ISO 11339)	ca. 9 N/mm
Zugfestigkeit ⁶ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	ca. 30 MPa
Bruchdehnung ⁶ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	ca. 8 %
Glasumwandlungstemperatur, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 61006)	ca. 105°C
Halbbarkeit bei 23°C (CQP 584-1)	8 Monate

¹ CQP = Corporate Quality Procedures

² DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 25 x 10 x 0.3 mm; Zuggeschwindigkeit: 10 mm/Min.

³ H320 ZE 50/50 1.5 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 25 x 10 x 0.3 mm; Zuggeschwindigkeit: 10 mm/Min.

⁴ DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 20 x 30 x 0.3 mm; Auftreffgeschwindigkeit: 2.0 m/s.

⁵ DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; Verklebung: 25 x 100 x 0.3 mm; Zuggeschwindigkeit: 100 mm/Min.

⁶ Zuggeschwindigkeit: 2 mm/Min.

Beschreibung

SikaPower®-492G (LVP) ist ein einkomponentiger, warmappizierender, hitzehärtender, hochstrukturierter, zähmodifizierter Klebstoff auf Epoxidharz-Basis.

SikaPower®-492G (LVP) ist zur Verklebung von Blechen im Rohbau konzipiert, wobei der Klebstoff durch Wärme, zum Beispiel im KTL-Ofen, zu einem hoch belastbaren Duromer aushärtet.

SikaPower®-492G (LVP) wird in Übereinstimmung mit dem Qualitätssicherungs-System ISO-9001/14001 und dem Responsible Care Programm hergestellt.

Produktvorteile

- Einkomponentig
- Hochfest
- Haftung auf beölten Untergründen
- Hohe Auswaschbeständigkeit
- Geeignet zum Fügen unterschiedlicher Metalle
- Enthält keine Glaskugeln
- Ermöglicht verzugsfreies Fügen
- Schützt zusätzlich vor Korrosion
- Keine Beschädigung der Füge-teile
- Enthält keine Lösemittel, PVC oder freie Isocyanate

Anwendungsbereich

SikaPower®-492G (LVP) ermöglicht das hochstrukturelle Verbinden von verschiedenen Metallarten. Der Klebstoff ist geeignet zur Anwendung als Bördelfalzklebstoff. Die im Klebstoff enthaltenen Glaskugeln sorgen für eine uniforme Klebschichtdicke im Spalt und verhindern ein übermäßiges Ausquetschen des Klebstoffes. Das Verkleben von beölten Untergründen (gängige Korrosionsschutz-, Tiefziehhöle, ca. 2 g/m²) ist aufgrund der Ölaufnahme bei der Heisshärtung möglich.

Verarbeitungshinweise

SikaPower®-492G (LVP) wird im Raupenauftrag mit einem empfohlenen Durchmesser von 1 bis 3 mm appliziert. SikaPower®-492G (LVP) wird bei der Abfüllung mit einer Maschenweite von 300 µm filtriert.

Aufgrund der temperaturabhängigen Viskosität (siehe Diagramm 1) müssen alle Anlagenteile, die mit dem Klebstoff in Berührung kommen beheizt werden. Wir empfehlen eine stufenweise Temperierung von der Fassfolgeplatte (40°C) bis zur Applikationstemperatur (Düse, 55°C). Zur Schonung der Dichtungen und zur besseren Entnahme der aufgeschnittenen Folien-Rondelle empfehlen wir dringend, das neue Gebinde 15 Minuten vorzuwärmen und erst dann die Folien-Rondelle zu entfernen. Bei längeren Stillstandzeiten (z.B. nachts oder am Wochenende) empfehlen wir die Anlage auszuschalten und den Druck zu entlasten (Pumpe und Dosierer).

Die im Klebstoff enthaltenen Glas-kugeln beeinflussen den Auftrag mit herkömmlichen Applikationsanlagen nicht.

Zwischen Applikation und Härtung darf kein zu grosser Zeitraum liegen, da durch Feuchtigkeitsaufnahme (vom Klima abhängig) bei der thermischen Härtung eine Blasenbildung nicht ausgeschlossen werden kann. Ein Anhaltswert zur Prozessplanung: Eine Blasenbildung bei Lagerung bei 23°C und 80% relative Luftfeuchte im gefügten Zustand über zwei Wochen wurde nicht beobachtet, ein Abfall des dynamischen Spaltwiderstands wurde auch nach vier Wochen nicht festgestellt. Wird diese Zeit jedoch überschritten, ist eine Vorhärtung von 15 Minuten bei 160°C (Objekttemperatur) notwendig.

Für eine projektbezogene Beratung zur Applikationstechnik wenden Sie sich bitte an die Abteilung Corporate System Engineering (Sika Services AG). Für anwendungsbezogene Beratung (Technischer Service) wenden Sie sich bitte an die Sika Automotive GmbH.

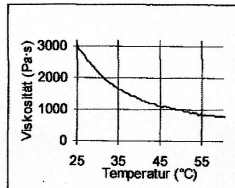


Diagramm 1: Viskosität in Abhängigkeit der Temperatur (Gerät: Physica)

Härtung

SikaPower®-492G (LVP) wird mit Hilfe von Wärme ausgehärtet. Die Aushärtung ist sowohl temperatur- wie auch zeitabhängig. Als Wärmequellen kommen insbesondere Konvektionsöfen zur Anwendung. Eine maximale Temperatur von 220°C darf dabei nicht überschritten werden.

Weitere Informationen

Folgende Dokumente sind auf Anfrage erhältlich:

- Sicherheitsdatenblatt
- Pumpenspezifikation

Gebindeeinheiten

Kartuschen	310 ml
Hobbock ¹⁾	23 l
Hobbock	50 l
Fass	195 l

¹⁾ 280 mm Durchmesser

Messwerte

Alle in diesem Produktdatenblatt aufgeführten technischen Daten stammen aus Laborversuchen. Von uns nicht beeinflussbare Umstände können zu Abweichungen der effektiven Werte führen.

Länderspezifische Daten

Die Angaben in diesem Produktdatenblatt sind gültig für das entsprechende, von der Sika Schweiz AG ausgelieferte Produkt. Bitte berücksichtigen Sie, dass die Angaben in anderen Ländern davon abweichen können; beachten Sie im Ausland das lokale Produktdatenblatt.

Wichtige Sicherheitshinweise

Für detaillierte Angaben betreffend Sicherheit, Lagerung und Verwendung des entsprechenden Produkts, konsultieren Sie das aktuelle Sicherheitsdatenblatt.

Rechtliche Hinweise

Die vorstehenden Angaben, insbesondere die Vorschläge für die Verarbeitung und Verwendung unserer Produkte, beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt die Produkte wurden sachgerecht gelagert und angewandt. Wegen der unterschiedlichen Materialien, Untergründen und abweichenden Arbeitsbedingungen kann eine Gewährleistung eines Arbeitsergebnisses oder eine Haftung, aus welchem Rechtsverhältnis auch immer, weder aus diesen Hinweisen, noch aus einer mündlichen Beratung begründet werden, es sei denn, dass uns insoweit Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt. Hierbei hat der Anwender nachzuweisen, dass er schriftlich alle Kenntnisse, die zur sachgemässen und erfolgversprechenden Beurteilung durch Sika erforderlich sind, Sika rechtzeitig und vollständig übermittelt wurden. Der Anwender hat die Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Anwendungszweck zu prüfen. Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im Übrigen gelten unsere jeweiligen Verkaufs- und Lieferbedingungen. Es gilt das jeweils neueste Produktdatenblatt, das von uns angefordert werden sollte.



Weitere Informationen unter:
www.sika.ch
www.sika.com

Sika Automotive GmbH
Reichsbahnstraße 99
D-22525 Hamburg
Germany
Tel. +49 40 5400-0
Fax +49 40 5400-241



SikaPower®-492G (LVP) 2 / 2

T-Schälprüfung nach ISO 11339

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1040
 Gesteter Schmierstoff: : Multidraw E1
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: : 2 g/m²
 Schubgeschwindigkeit: : 100 mm/min

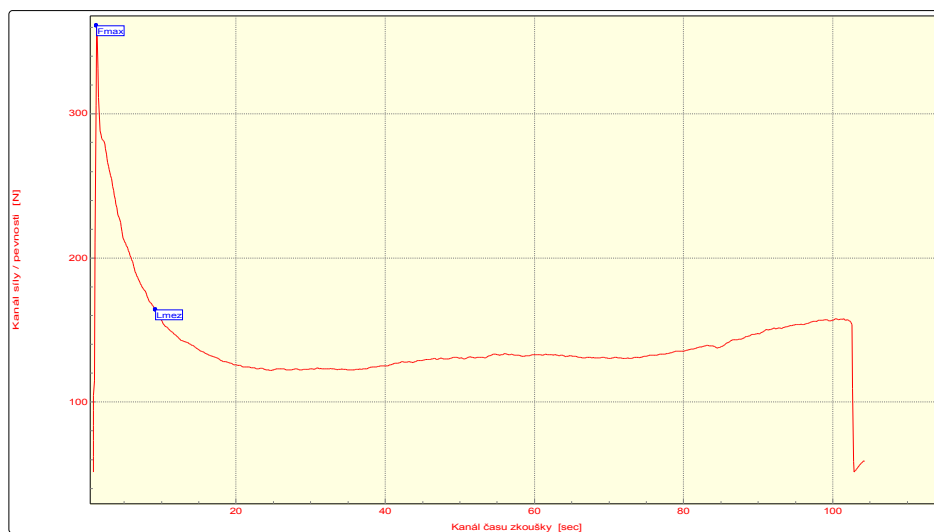
Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Kleben der Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min
 Test bei RT

Schlusswerte

CF: : 70
 SCF: : 30
 AF: :

Číslo zkoušky	F _{sab} N/mm	F _{max} N
1	5.62	335.39
2	5.49	273.33
3	5.31	360.95
4	4.86	222.53
5	5.39	253.93

Statistická hodnota	F _{sab} N/mm	F _{max} N
Počet zkoušek	5	5
Průměrná hodnota	5.33	289.23
Směrodatná odchylka	0.29	57.49



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

T-Schälprüfung nach ISO 11339

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1040
 Gesteter Schmierstoff: :
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: :
 Schubgeschwindigkeit: : 100 mm/min

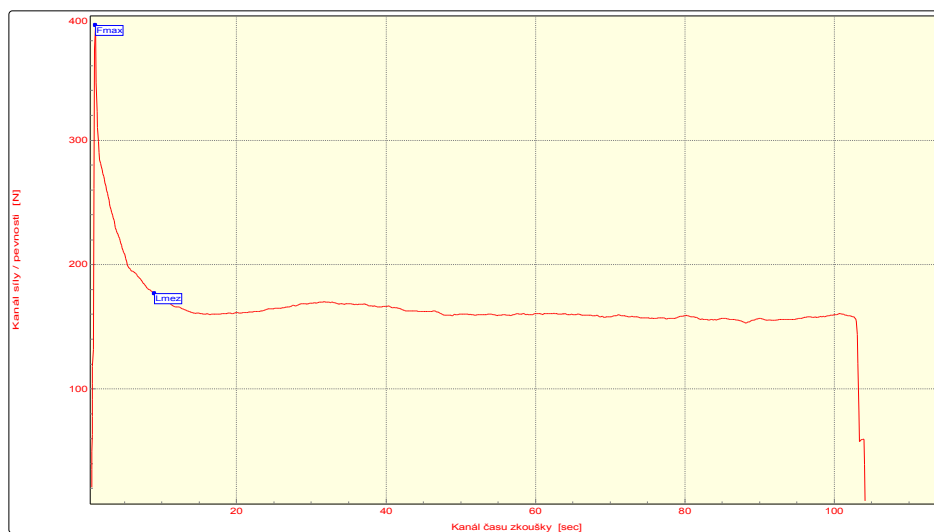
Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Kleben der Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min
 Test bei RT

Schlusswerte

CF: : 100
 SCF: :
 AF: :

Číslo zkoušky	F _{stab} N/mm	F _{max} N
1	6.42	392.22
2	6.06	452.15
3	6.27	497.30
4	6.02	454.21

Statistická hodnota	F _{stab} N/mm	F _{max} N
Počet zkoušek	4	4
Průměrná hodnota	6.19	448.97
Směrodatná odchylka	0.19	43.18



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

T-Schälprüfung nach ISO 11339

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1496F
 Gesteter Schmierstoff: : Multidraw E1
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: : 2 g/m²
 Schubgeschwindigkeit: : 100 mm/min

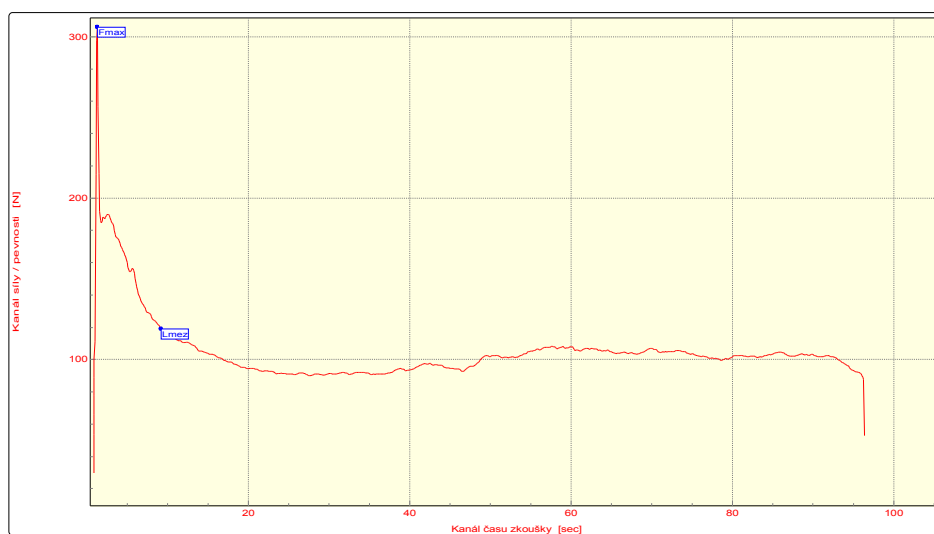
Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Kleben der Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min
 Test bei RT

Schlusswerte

CF: : 20
 SCF: : 70
 AF: : 10

Číslo zkoušky	F _{sab} N/mm	F _{max} N
1	5.23	548.42
2	3.98	305.67
3	3.10	279.56
4	3.69	403.34
5	5.35	531.57

Statistická hodnota	F _{sab} N/mm	F _{max} N
Počet zkoušek	5	5
Průměrná hodnota	4.27	413.71
Směrodatná odchylka	0.99	124.31



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

T-Schälprüfung nach ISO 11339

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1496F
 Gesteter Schmierstoff: :
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: :
 Schubgeschwindigkeit: : 100 mm/min

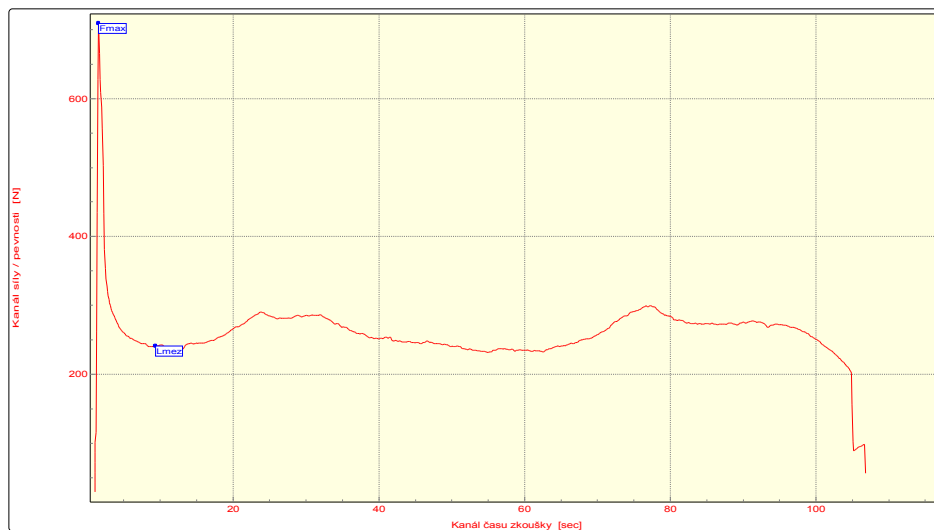
Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Kleben der Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min
 Test bei RT

Schlusswerte

CF: : 80
 SCF: : 20
 AF: :

Číslo zkoušky	F _{stab} N/mm	F _{max} N
1	9.02	597.39
2	11.18	791.73
3	10.46	708.86
4	10.22	631.64

Statistická hodnota	F _{stab} N/mm	F _{max} N
Počet zkoušek	4	4
Průměrná hodnota	10.22	682.41
Směrodatná odchylka	0.90	86.52



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

T-Schälprüfung nach ISO 11339

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G-LVP
 Gesteter Schmierstoff: :
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: :
 Schubgeschwindigkeit: : 100 mm/min

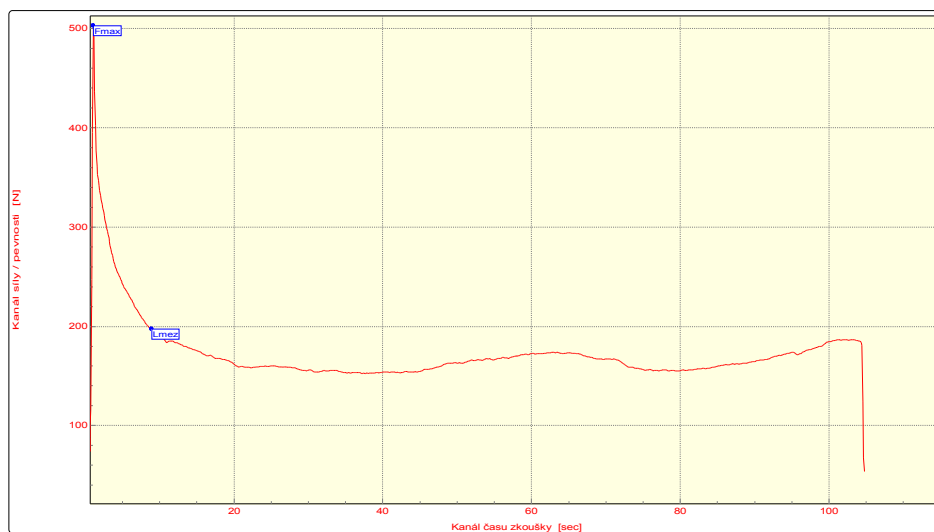
Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Kleben der Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min
 Test bei RT

Schlusswerte

CF: : 50
 SCF: : 50
 AF: :

Číslo zkoušky	F _{sab} N/mm	F _{max} N
1	6.51	502.68
2	5.57	269.64
3	5.96	424.22
4	6.50	370.50
5	6.05	468.69

Statistická hodnota	F _{sab} N/mm	F _{max} N
Počet zkoušek	5	5
Průměrná hodnota	6.12	407.15
Směrodatná odchylka	0.40	91.46



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

T-Schälprüfung nach ISO 11339

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G-LVP
 Gesteter Schmierstoff: : Multidraw E1
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: : 2 g/m²
 Schubgeschwindigkeit: : 100 mm/min

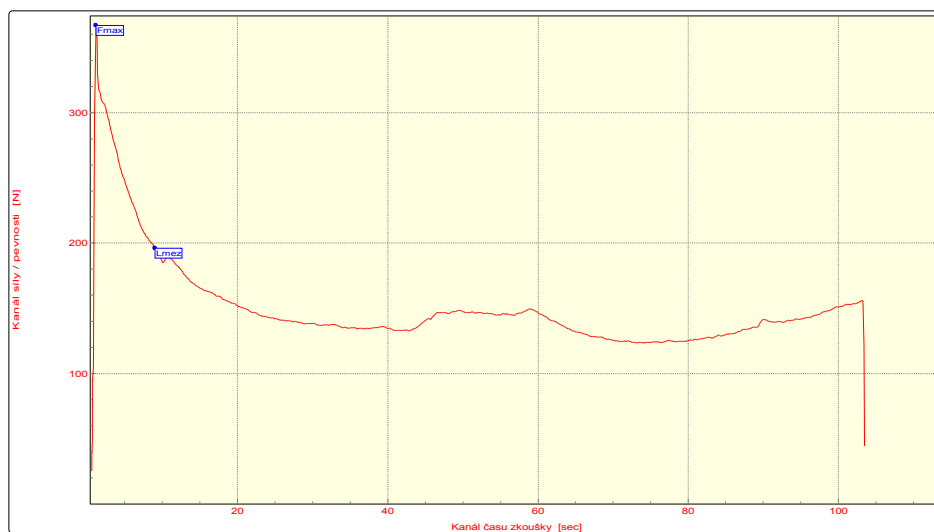
Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Kleben der Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min
 Test bei RT

Schlusswerte

CF: : 50
 SCF: : 50
 AF: :

Číslo zkoušky	F _{5ab} N/mm	F _{max} N
1	5.53	367.01
2	5.89	324.41
3	5.87	414.86
4	5.64	395.86

Statistická hodnota	F _{5ab} N/mm	F _{max} N
Počet zkoušek	4	4
Průměrná hodnota	5.73	375.54
Směrodatná odchylka	0.18	39.35



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1040
 Gesteter Schmierstoff: :
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: :
 Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
 Verklebende Fläche: : (25x10) mm

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min.
 Test bei RT

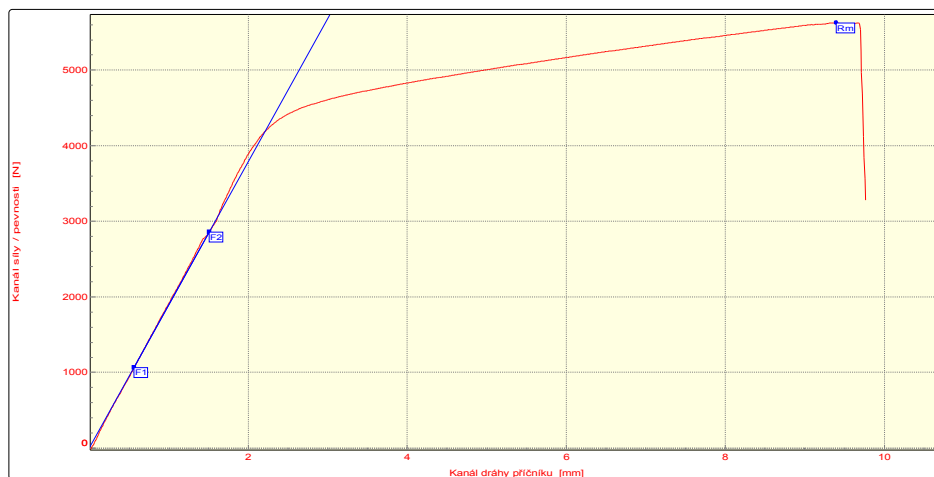
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 50
 SCF: : 50
 AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.51
2	21.18
3	22.18
4	22.18

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	22.01
Směrodatná odchylka	0.58



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1040
 Gesteter Schmierstoff: : Multidraw E1
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: : 2 g/m²
 Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
 Verklebende Fläche: : (25x10) mm

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min.
 Test bei RT

Schlusswerte

Bruchbild [%]:

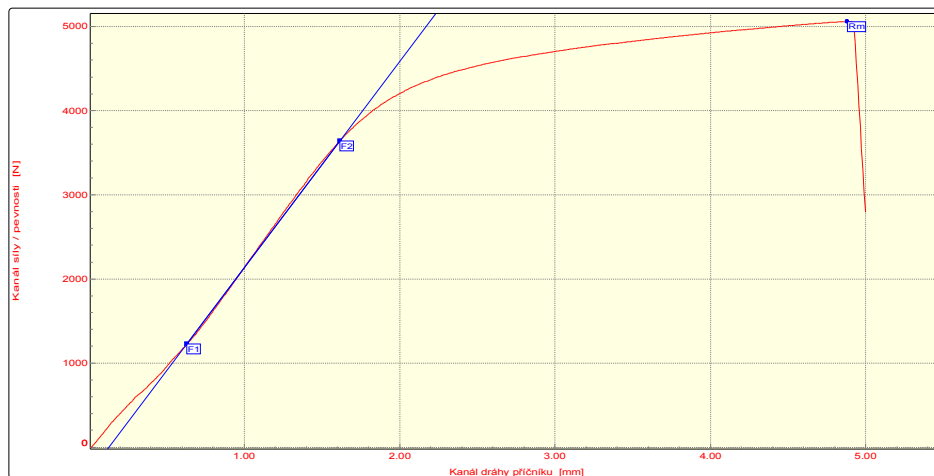
CF: : 50

SCF: : 50

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	21.61
2	16.89
3	21.75
4	20.23
5	19.90

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	20.07
Směrodatná odchylka	1.96



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1496F
 Gesteter Schmierstoff: :
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: :
 Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
 Verklebende Fläche: : (25x10) mm

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min.
 Test bei RT

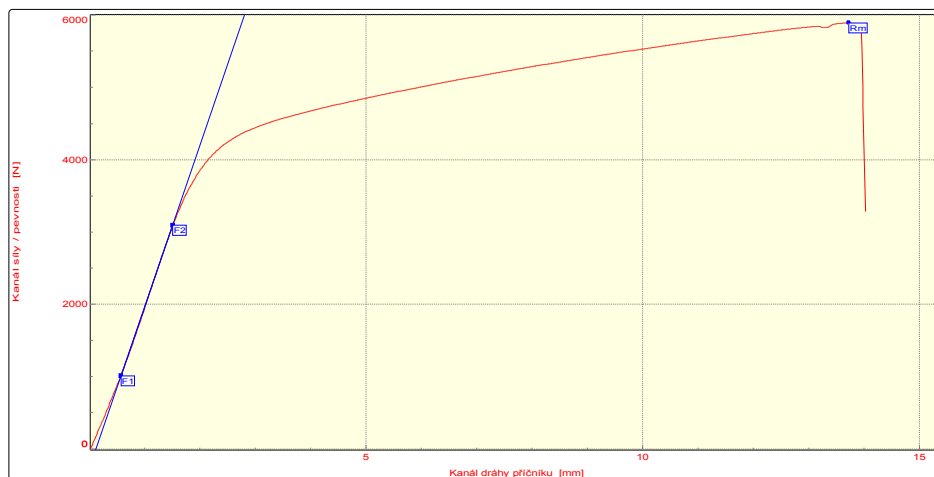
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 45
 SCF: : 50
 AF: : 5

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	23.38
2	23.58
3	24.69
4	24.69

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	24.06
Směrodatná odchylka	0.71



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Betamate 1496F
 Gesteter Schmierstoff: : Multidraw E1
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: : 2 g/m²
 Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
 Verklebende Fläche: : (20x10) mm

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min.
 Test bei RT

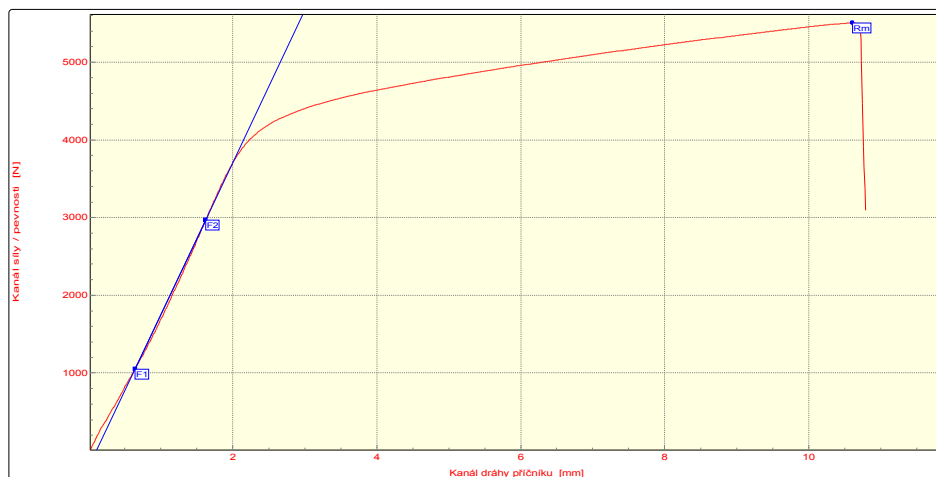
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: :
 SCF: :
 AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	21.96
2	21.97
3	22.02
4	23.04

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	22.25
Směrodatná odchylka	0.53



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G-LVP
 Gesteter Schmierstoff: :
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: :
 Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
 Verklebende Fläche: : (25x10) mm

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min.
 Test bei RT

Schlusswerte

Bruchbild [%]:

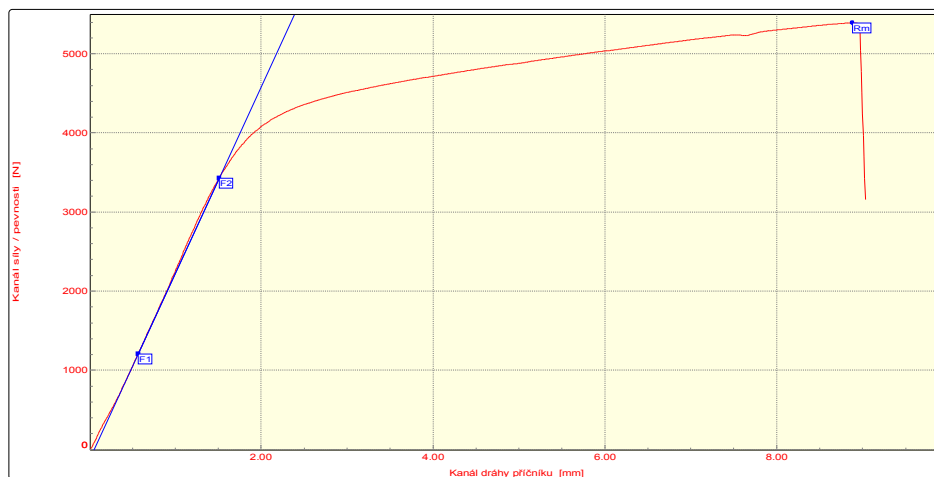
CF: : 50

SCF: : 50

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	21.57
2	21.60
3	20.92
4	22.96

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	21.76
Směrodatná odchylka	0.86



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G-LVP
 Gesteter Schmierstoff: : Multidraw E1
 Getestetes Substrat: : Al
 Schmierstoffmenge: : 2 g/m²
 Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
 Verklebende Fläche: : (25x10) mm

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
 Aushärtung 180°C, 20 min.
 Test bei RT

Schlusswerte

Bruchbild [%]:

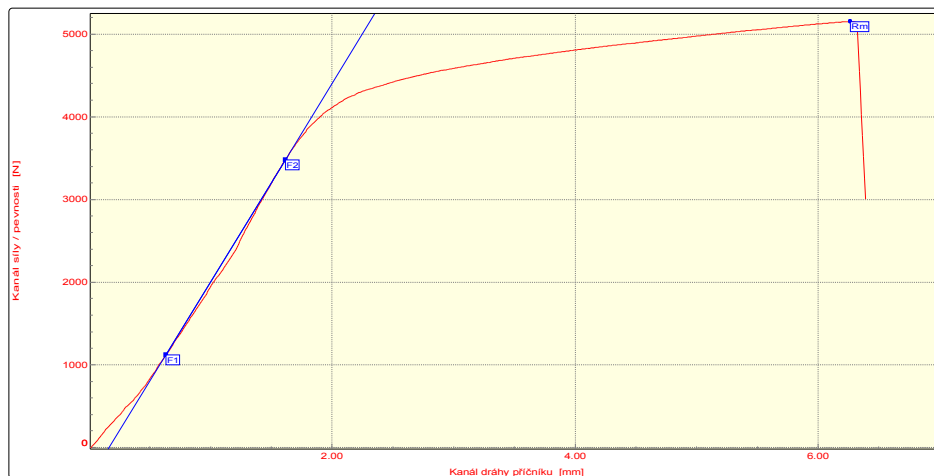
CF: : 50

SCF: : 50

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	20.14
2	20.60
3	19.61
4	19.82
5	20.89

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	20.21
Směrodatná odchylka	0.53



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 5.6.2009

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my

thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 5.6.2009

Signature